

# Klimaanpassung und Klimaschutz durch Agri-Photovoltaik



Bay.wa.re



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



Dupraz et al. 2011



(NCSL, 2020)



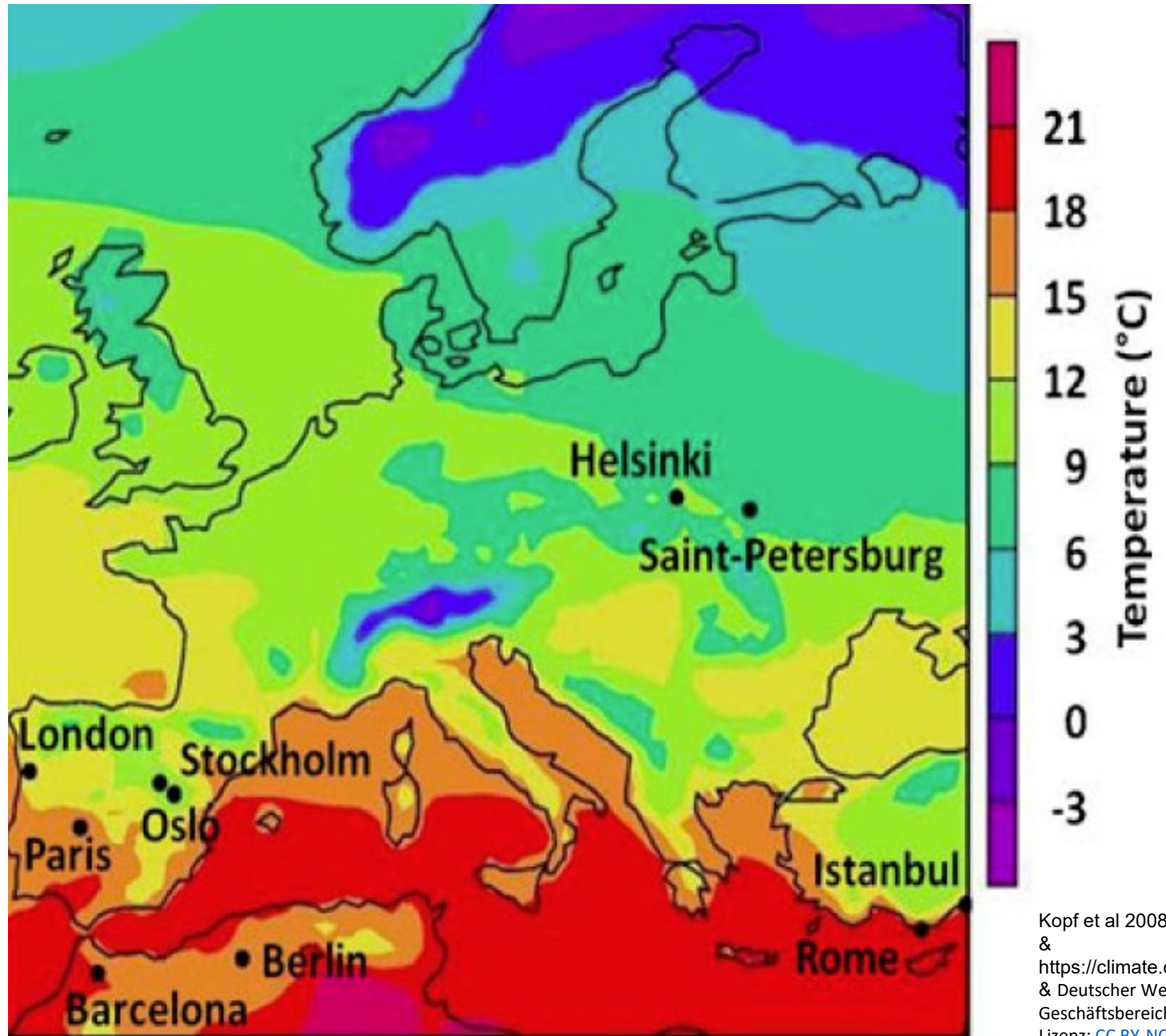
Fa. Brite Solar, Griechenland

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**

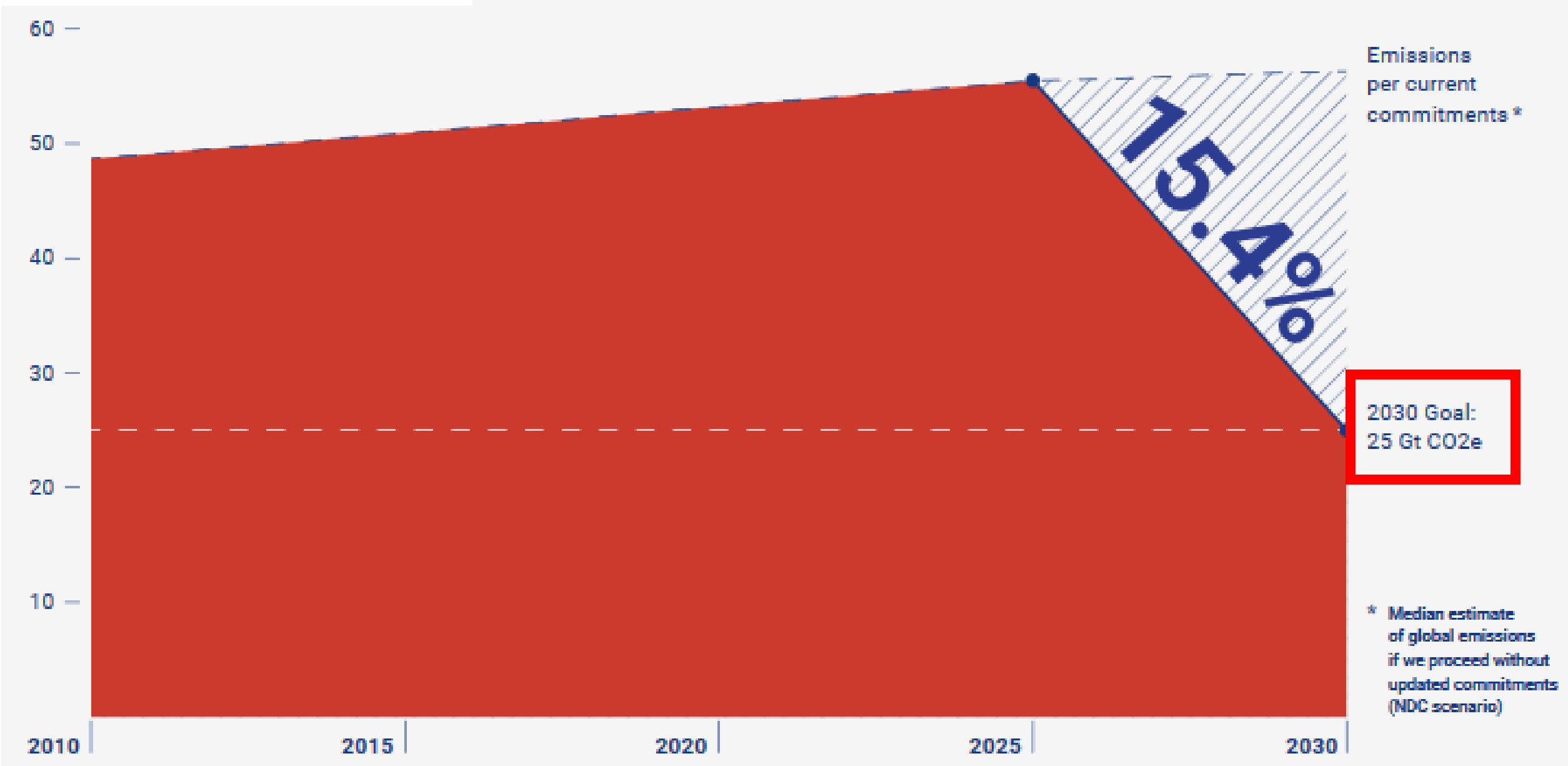
12 Monate bis Mai 2020 vergl. mit  
1881-1910

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](#)

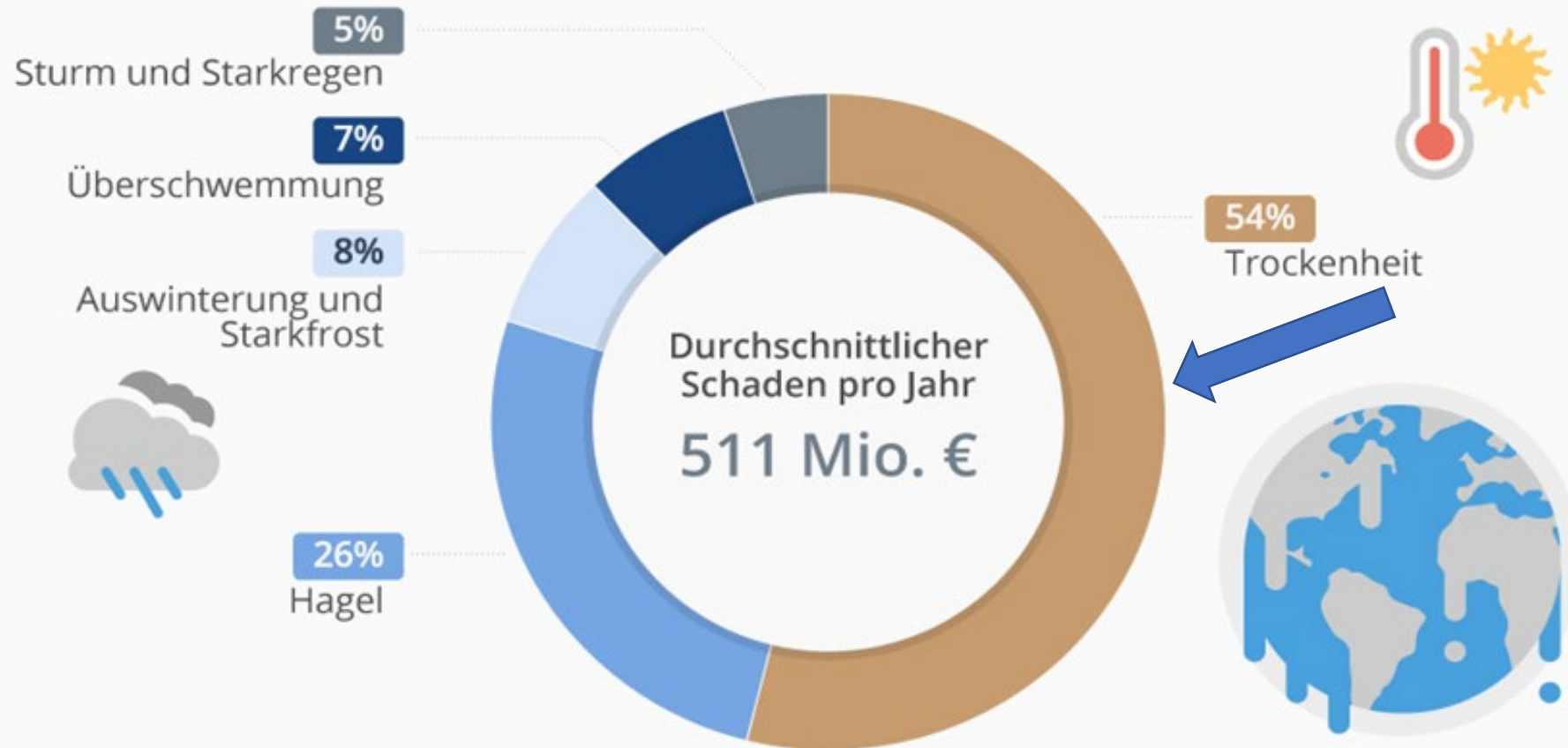
# Emissionen: 15.4% Reduktion/Jahr notwendig



Landwirtschaft

# Ernteschäden durch Wetterextreme in D

Schadenaufwand in der Landwirtschaft durch Wetterextreme in Deutschland 1990–2013



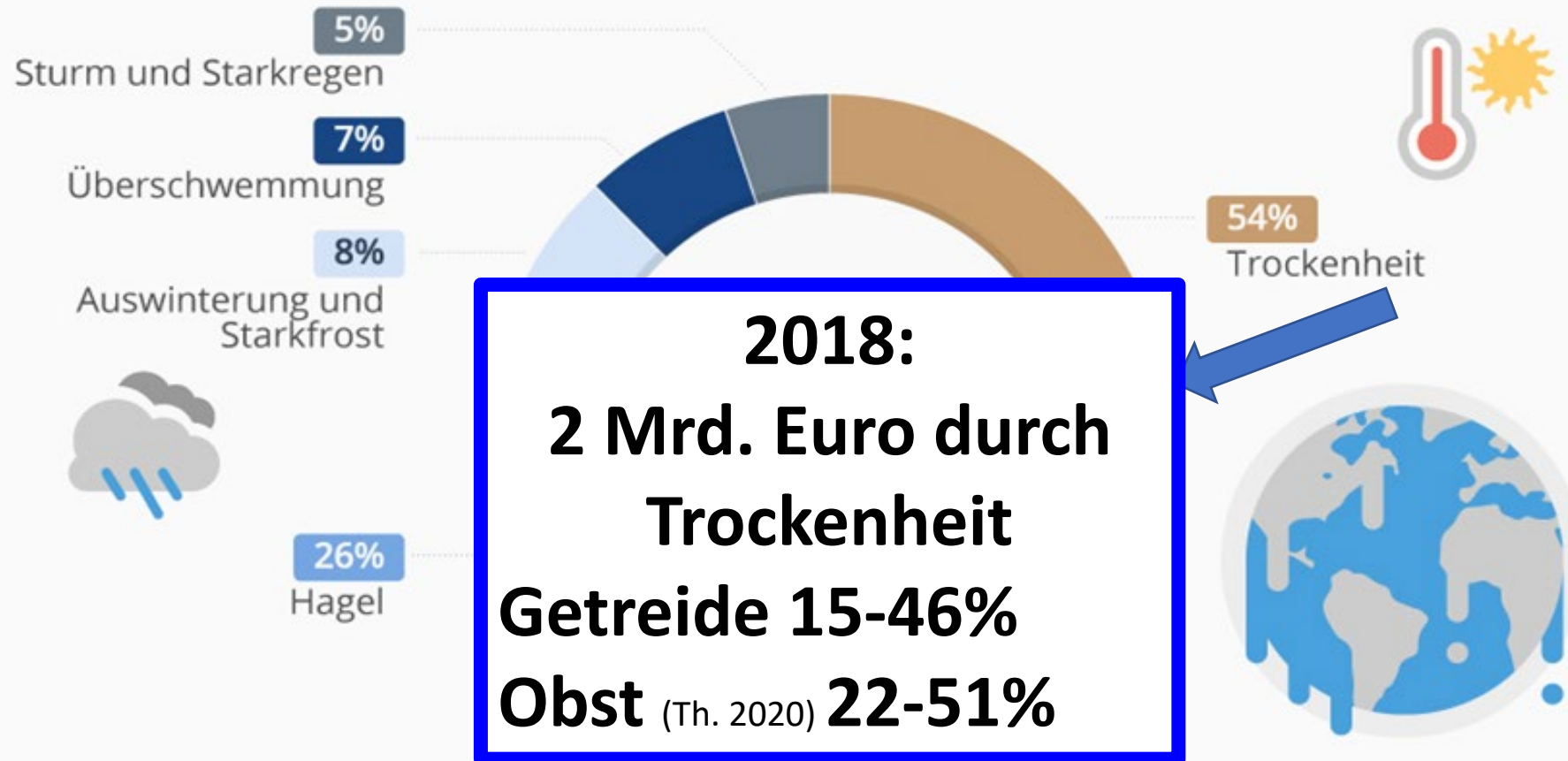
# Ernteschäden durch Wetterextreme in D

Schadenaufwand in der Landwirtschaft durch Wetterextreme in Deutschland 1990–2013



# Ernteschäden durch Wetterextreme in D

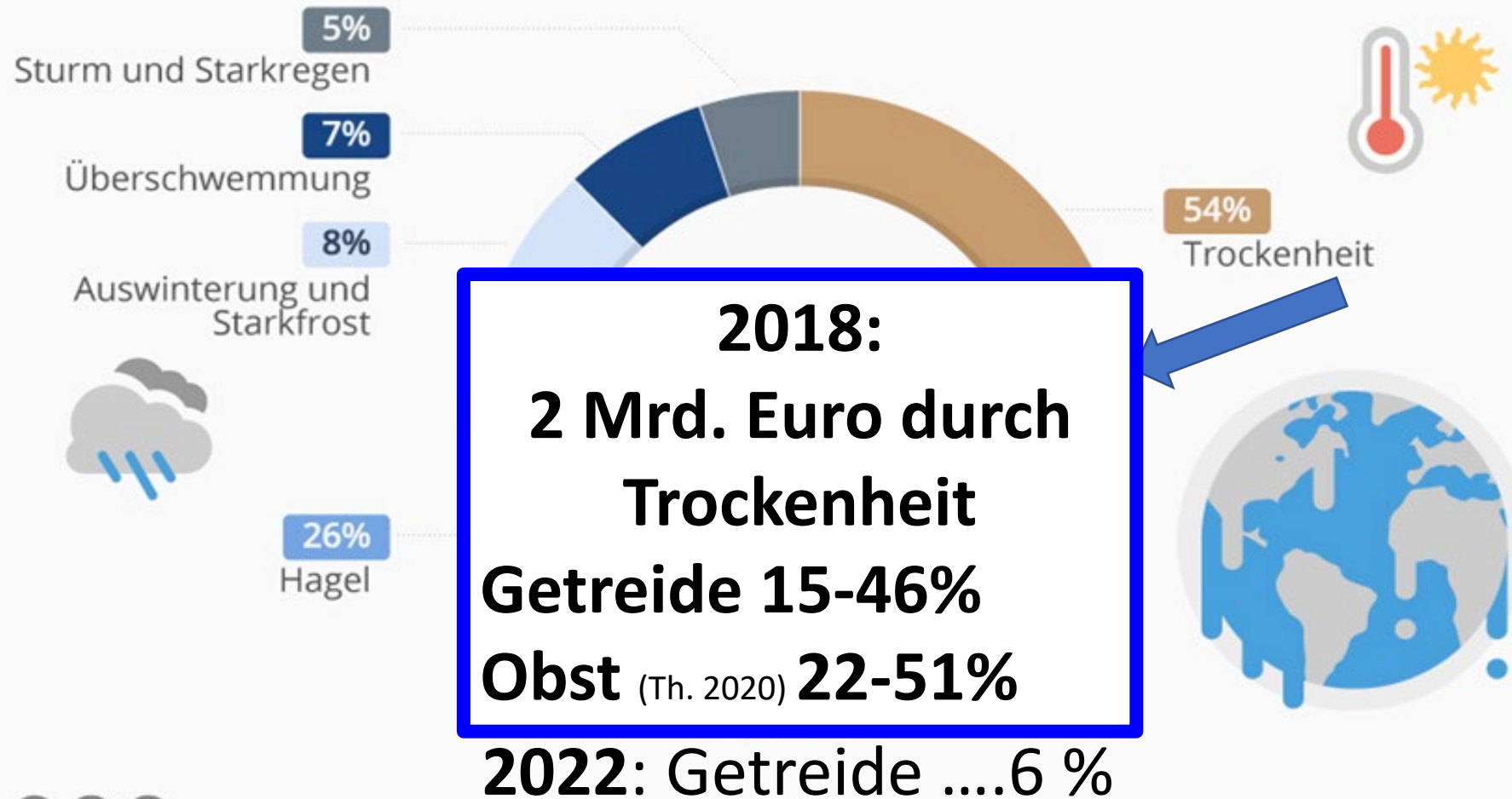
Schadenaufwand in der Landwirtschaft durch Wetterextreme in Deutschland 1990–2013





# Ernteschäden durch Wetterextreme in D

Schadenaufwand in der Landwirtschaft durch Wetterextreme in Deutschland 1990–2013

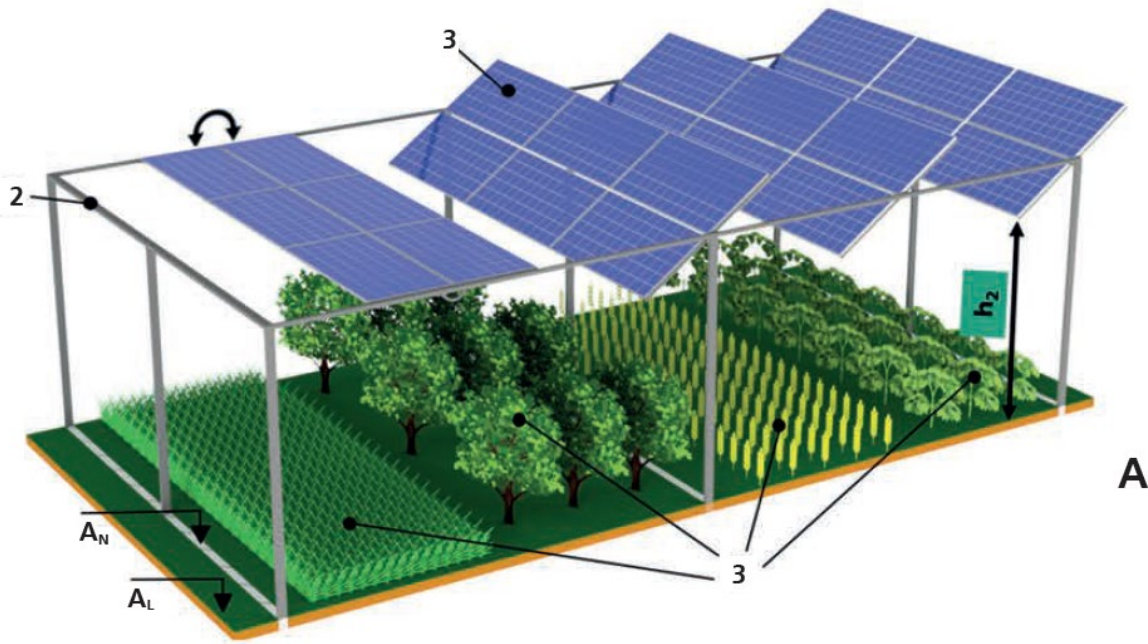


# Klimaschutz & Klimaanpassung

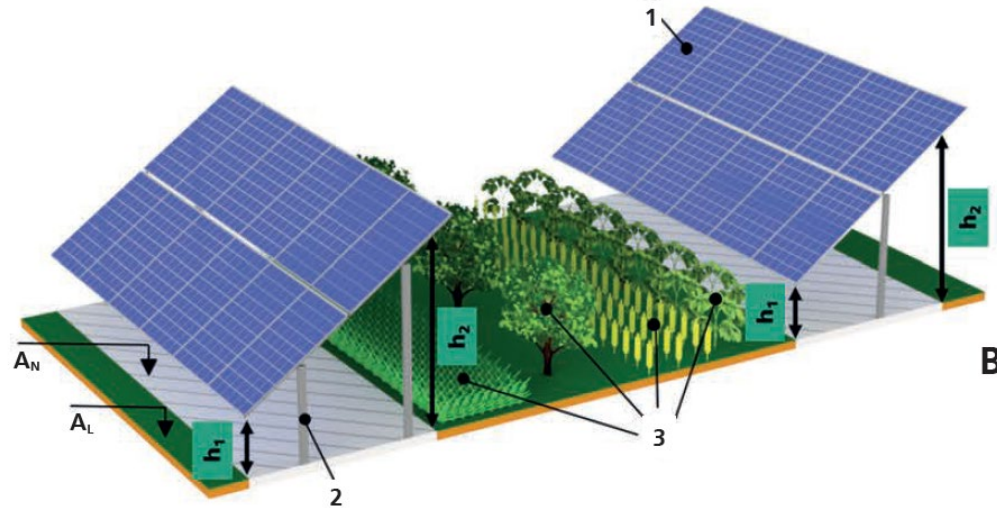
... Agri-Photovoltaik

# Agri-Photovoltaik

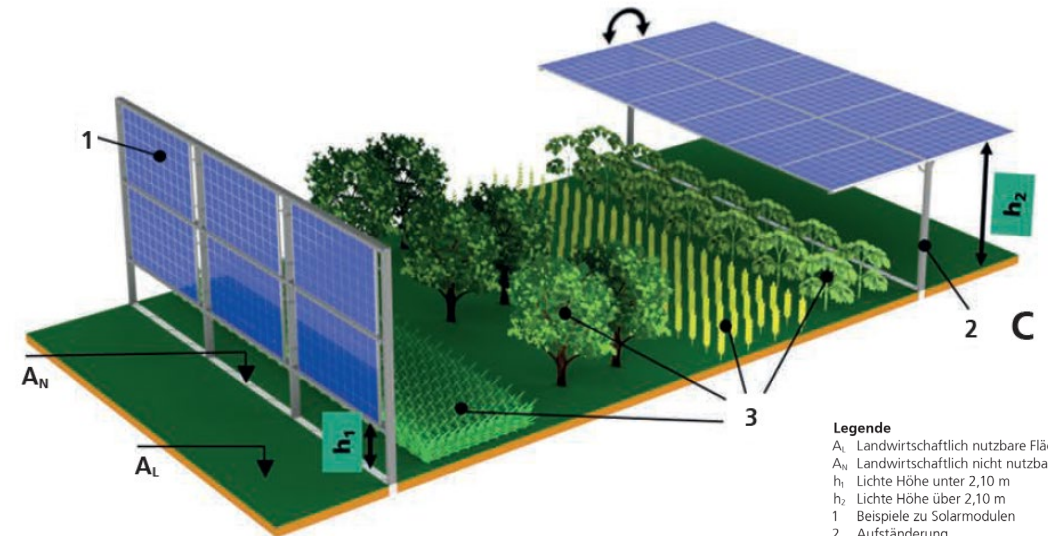
- Anbau **unter** und **zwischen** PV-Modulen



A



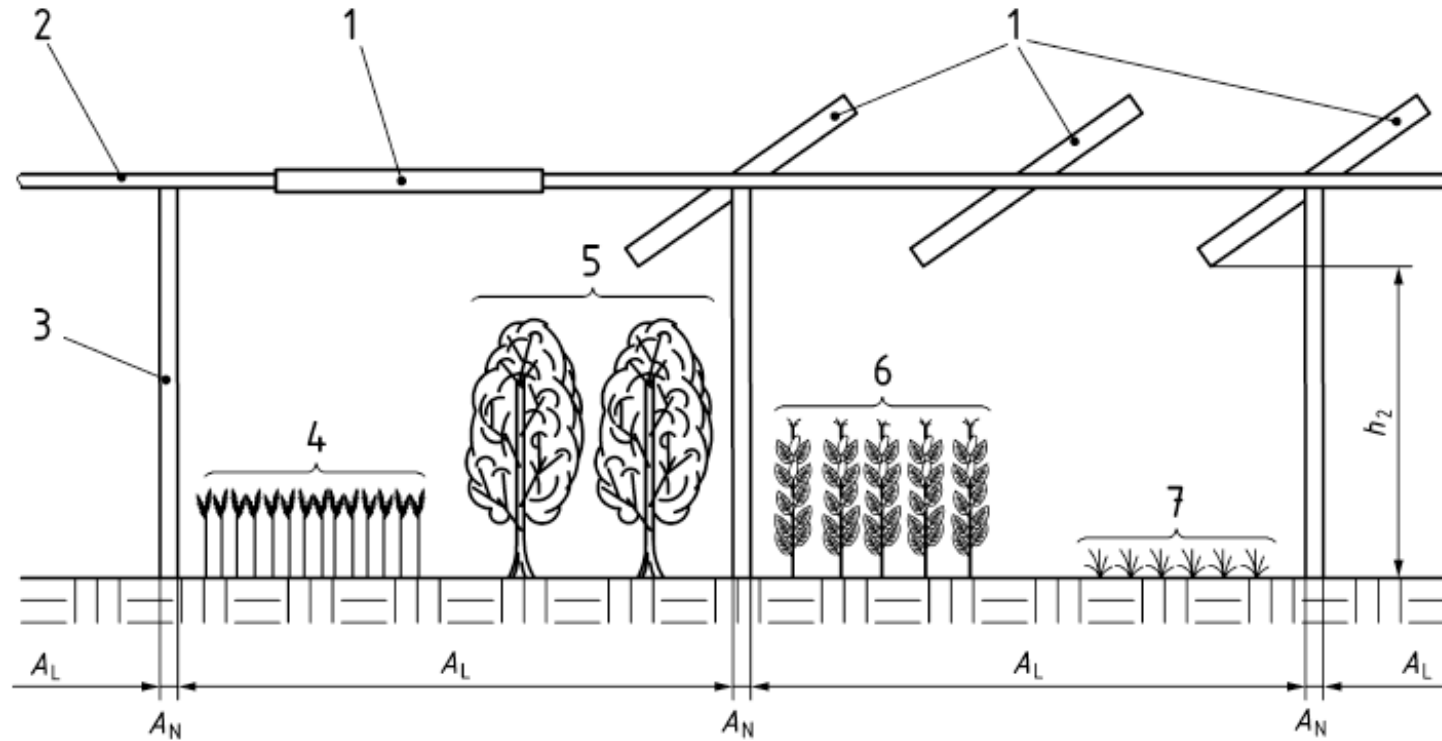
B



C

- 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 Beispiele landwirtschaftlicher Kulturen

# 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

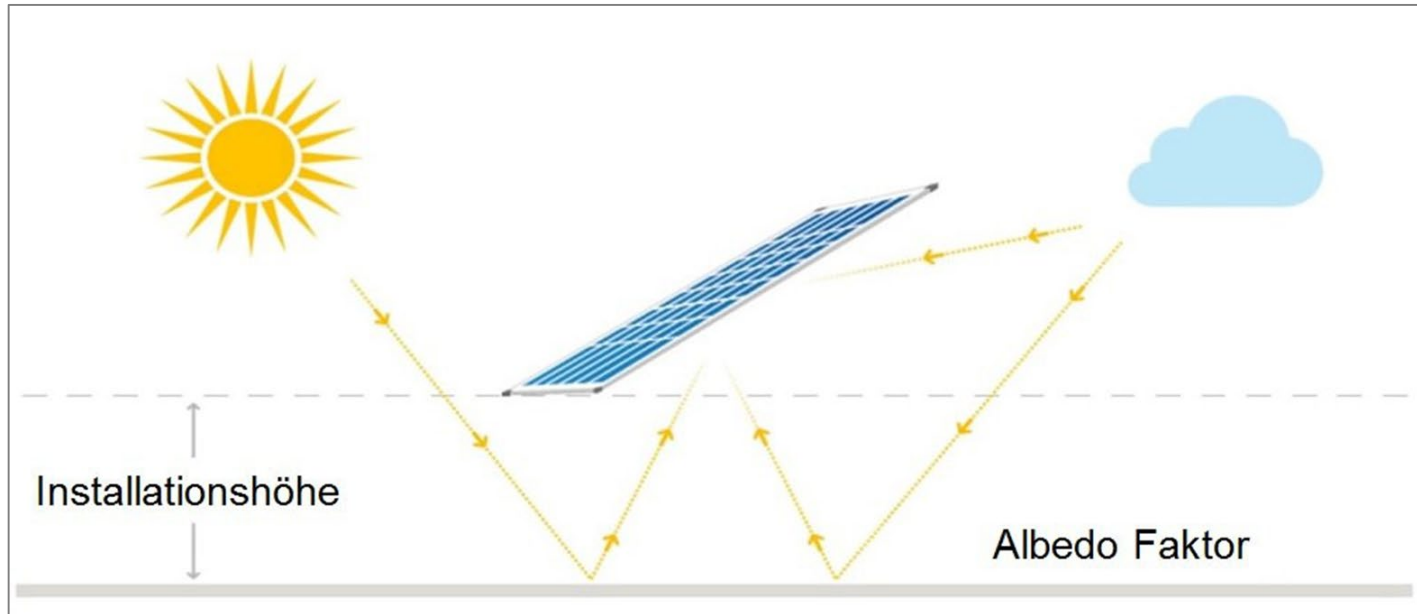


## Vorteile:

- - doppelte Flächennutzung
- Schutz der Anbaupflanzen vor Witterungsschäden
- Höhere Erträge möglich - besonders in Trockenjahren
- Stromerträge
- Steigerung der Moduleffizienz
- reversibel



# Bifaziale Module



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

- Zusätzliche Nutzung des reflektierten Lichts auf Unterseite, PERC+-Technologie (**25-40% Energieertragsteigerung**)
- Beidseitige Verglasung: homogenere Lichtverteilung unter den Modulen
- Glas-Glas 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

# Pilotanlagen Obstanbau

# Beispiele

August 2020



Quelle: BayWa r.e.



Beeren,  
Niederlande



Birnen



## Agri-PV: Solares Riesengewächshaus lässt Beeren wachsen

01.06.2021 ,



Foto: Karthaus

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

Foto: Karthaus

- **75% Sonnenschein**
- 2700 Module: **740kWp**, 660KVA  
Inverterleistung (6x 110KVA Huawei)
- **1,7 MWp/ha**
- 580,000 Euro
- Smart: Windmaschinen, Nebelsprüher, Wassersammelschacht, smarte Bewässerungstechnik
- **extreme Hitze abgehalten, Boden feucht & kühl**
- Hagelschutz
- **20% Mehrertrag Beeren**

## 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

## Steinicke: Solarstrom über dem Schnittlauchfeld



**Niedersachsen**

**10.000 qm LNF**

Aufn.: M. Lettenbichler

## 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 < 2Monaten zertifiziert**

# 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: Gewerbesteuer....**

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.**

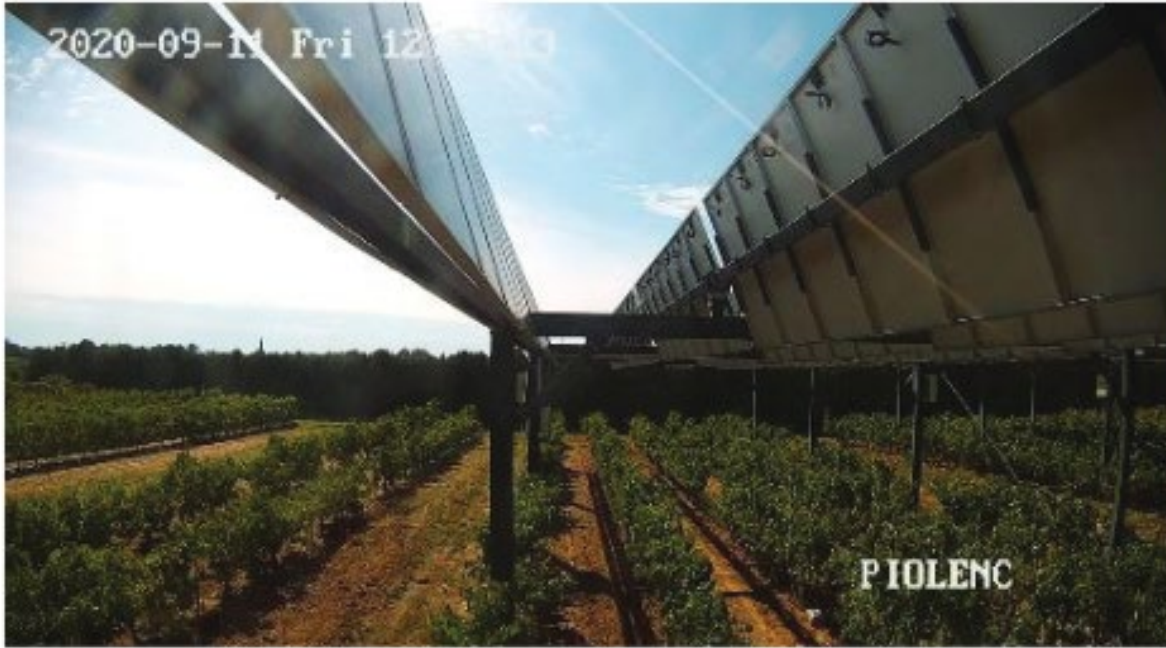
**NDR, 22.6.2022**



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

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





# Trends und Innovationen

## Ackerbau, Straßkirchen



## Drahtseilaufhängung



HyPERFarm – Straßkirchen; Firma Krinner Carport GmbH

- Kostenverringerung: bis zu **90%**  
(Leitner 2020)
- Durchfahrtsbreiten 11- 15m
- **Abstand zwischen Pfeilern 25-40m**

# Trends und Innovationen

# Drahtseilaufhängung

## Ackerbau, Italien



**Spinnanker**

Firma: REM tec



Intersolar Messe  
München, 5-2022

## Ackerbau, Frankreich



Foto: TSE

Firma: TSE

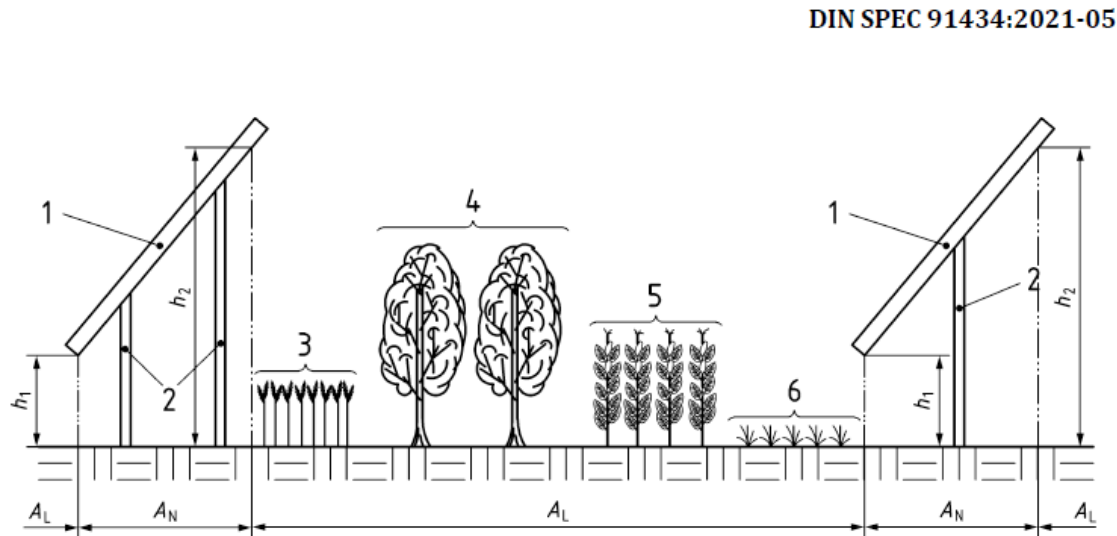


Image: Julien Bru Studio

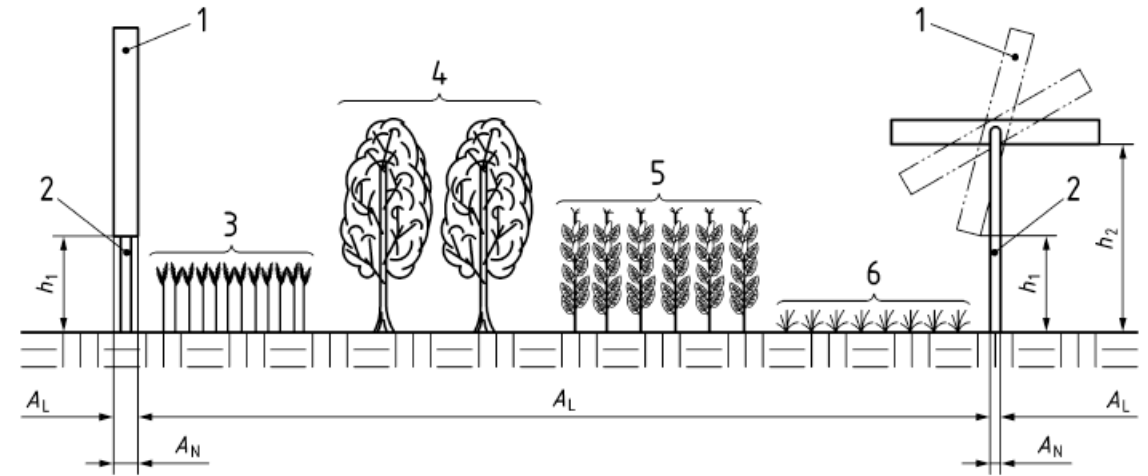
- 5,5m Höhe, Abstand 27m L, 11m B
- 0,5% Flächenbelegung
- **160 km/h Windlast** tolerabel
- Raps, W-Gerste, Futterroggen, Mais, Hülsenfrüchte
- Temp. in APV mind. 1,2°C niedriger
- Boden 3,2°C kühler, feuchter (Juni, Aug.)
- 30% Wassereinsparung erwartet

# 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 - Anbau zwischen PV Modulen



vertikal

Fa. Next2Sun

<https://www.next2sun.de>

- Bifaziale Module, vertikal
- O-W-Ausrichtung
- **435-460 kWp/ha**
- Anbau Futterpflanzen, Getreide, Hülsenfrüchte...



- Weniger Wind
- Mehr Bodenfeuchtigkeit

# APV - Anbau zwischen / unter PV Modulen

Nachgeführte Anlagen / Tracking

**Tracking:  
30% höhere Stromerträge möglich**



# APV - Anbau zwischen / unter PV Modulen

## Nachgeführte Anlagen / Tracking



(Hietel et al. 2021)





# APV... - Anbau zwischen / unter PV Modulen



Ausbau erneuerbarer Energien

# Hühner unter Strom

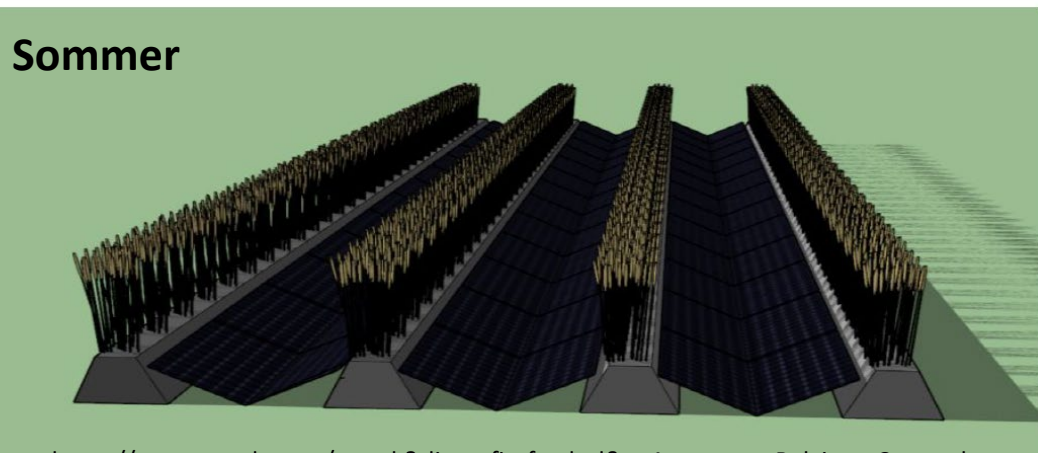
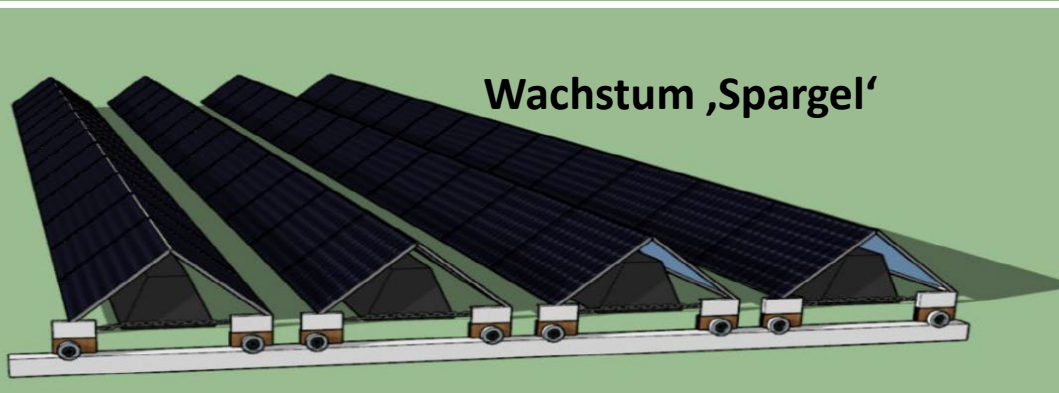
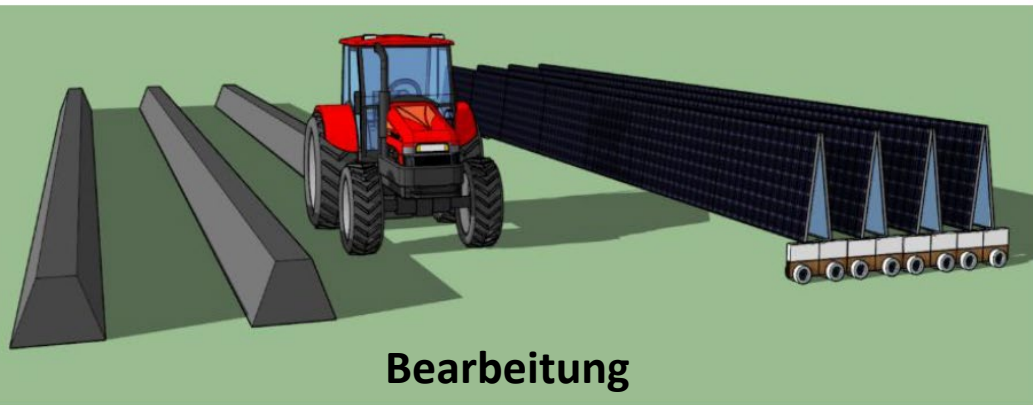
Unten Landwirtschaft, drüber Solarenergie: Die Grünen wollen Agri-Photovoltaik-Anlagen fördern.  
Brandenburgs größte Anlage ist in Steinhöfel geplant.



- 550 ha - 500 Mw Strom  
.....für mehr als 600.000 Haushalte
- Blühstreifen, Viehhaltung, Kräutern, Obst und Gemüse
- BMWK:  
**bis zu 0,2 Cent/kWh an die Kommune**  
= zusätzliche Einnahmen von rund 1 Mio Euro im Jahr

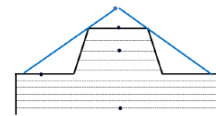
Extensiv oder intensiv: Unter Solaranlagen können auch Hühner füttern und Schafe weiden

Foto: SUNfarming GmbH Erkner



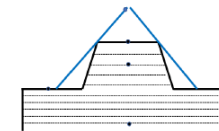
## Results: Energy yield

Depends on each situation during the year



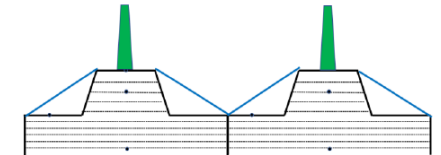
November – March  
Tilt: 30°  
Unshaded (E-W)  
6kWp

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*

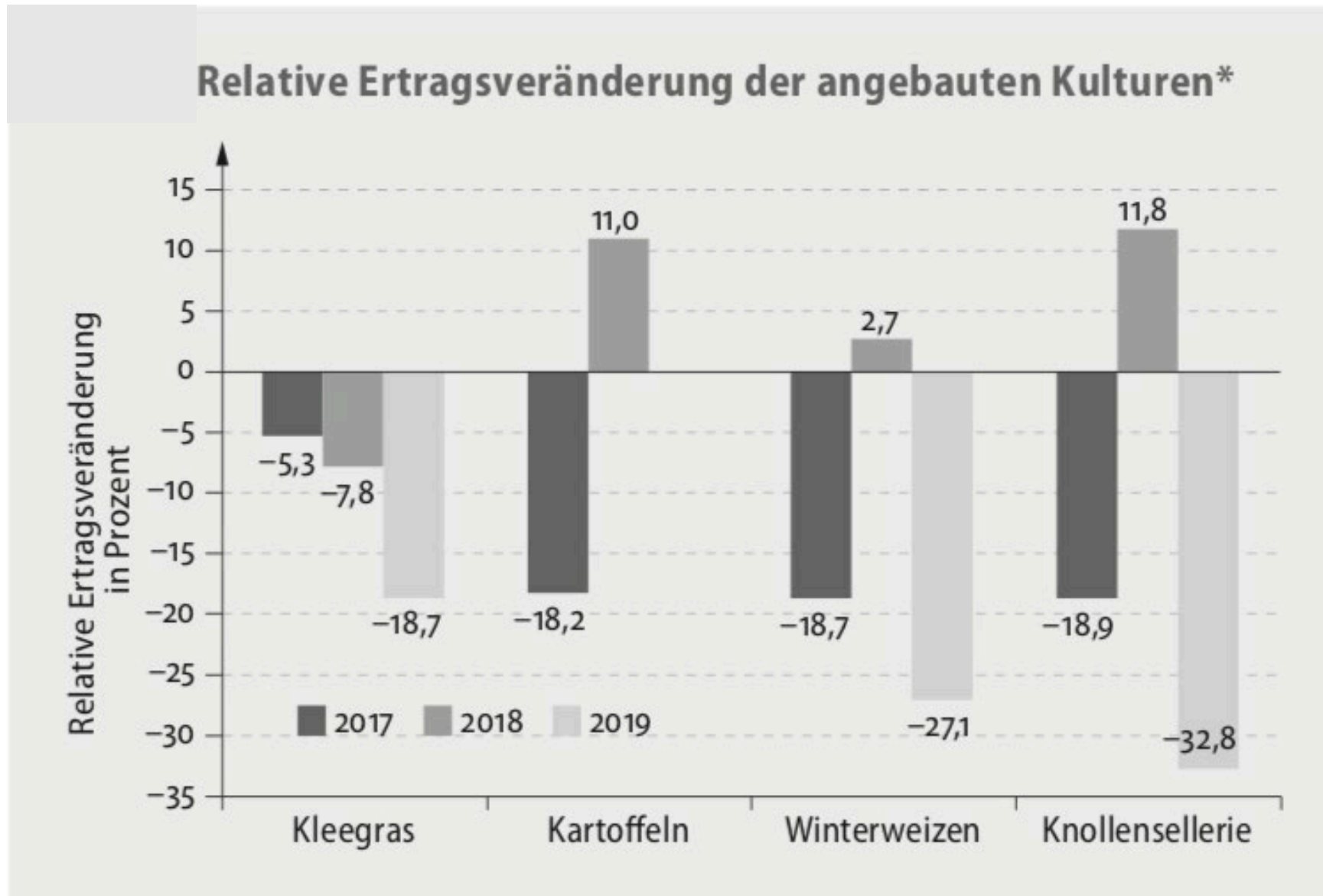
## Variable Modulneigung

### Spargel-Konzept

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

- Positive Auswirkungen APV auf
  - Mikroklima
  - Ertrag (bei Stress)
  - Bodenfeuchte / -temp.
  - Erosion (Wind, Wasser)
- Pflanzeneignung

# Ertragsunterschiede: Kulturen unter APV / Referenzflächen



# 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

# Eignung von Kulturpflanzen für APV

Kulturen profitabel bei Stress\*

## Schattentolerante Kulturen



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>

	<b>Gerste</b>	Weizen, Roggen, Triticale
	<b>Feldgras, Dauergrünland</b>	kleinkörnige Leguminosen
	<b>Winterraps</b>	Hanf
	<b>Kartoffel, Knollensellerie</b>	Zuckerrübe
	<b>Mangold, Salat Gurke</b>	Kohl**, Möhre, Rhabarber, Kürbis
	<b>(Äpfel, Birnen), (Erdbeeren) Strauchbeeren (+Holunder)</b>	Süß-/Sauerkirschen, Pflaumen u. Zwetschgen
	<b>(Wein, Hopfen), Ginseng, Bärlauch, Pilze</b>	Melisse, Pfefferminze

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

---

# Landschaftsästhetik...



# Landschaftsästhetik



Beispiele

Hagelschutz-  
netze



Quelle: BayWa r.e.

# Landschaftsästhetik



## Beispiele

Landschaftsästhetik....



# Landschaftsästhetik

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



# Beispiel für die standortangepasste Gestaltung

Fotos: Lenz C., 2020



# Visualisierung APV Anlage - grüne Module



# Visualisierung APV Anlage - grüne Module

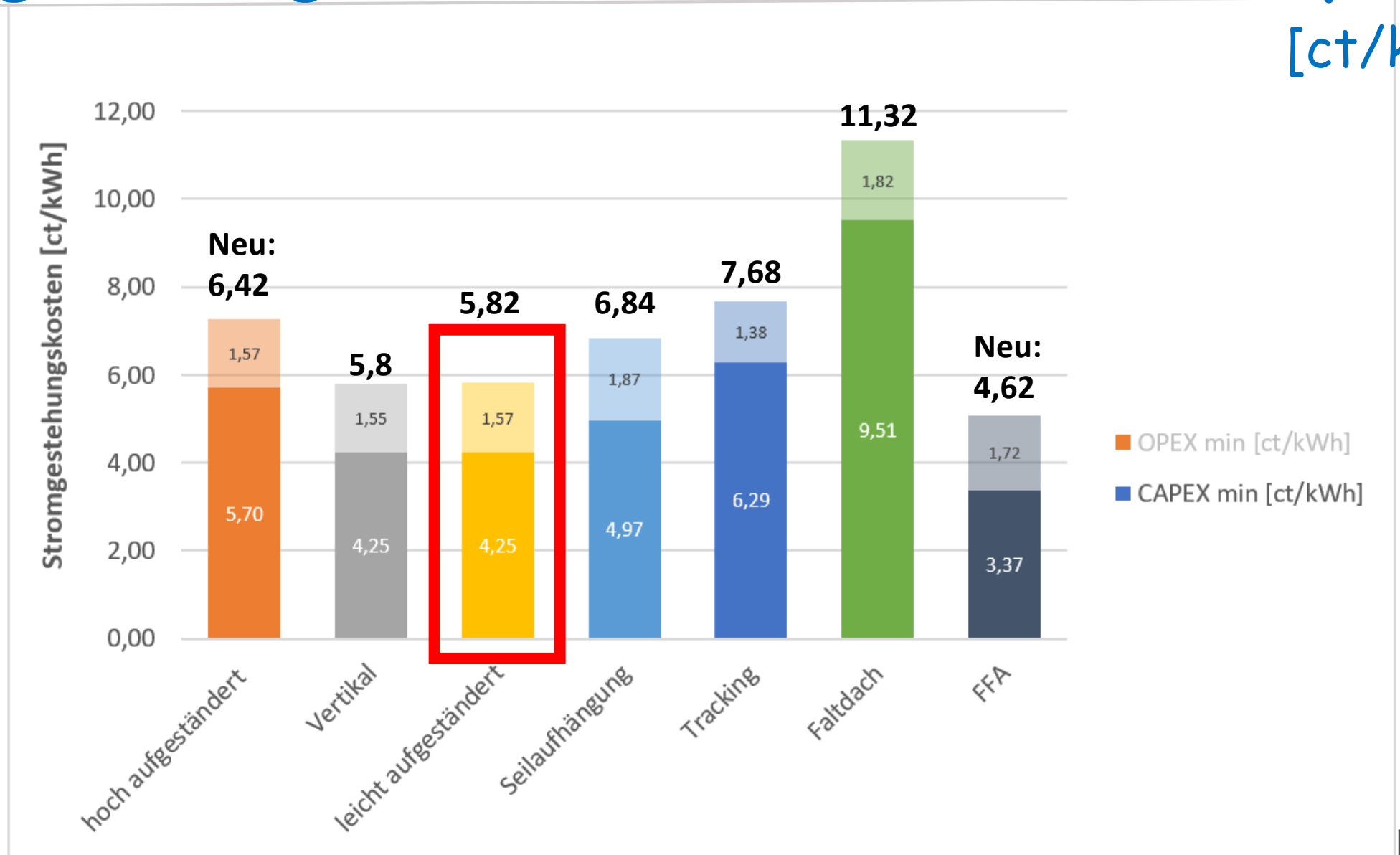
C



**Wirtschaftlichkeit**

# Stromgestehungskosten verschiedener APV-Systeme

[ct/kWh]



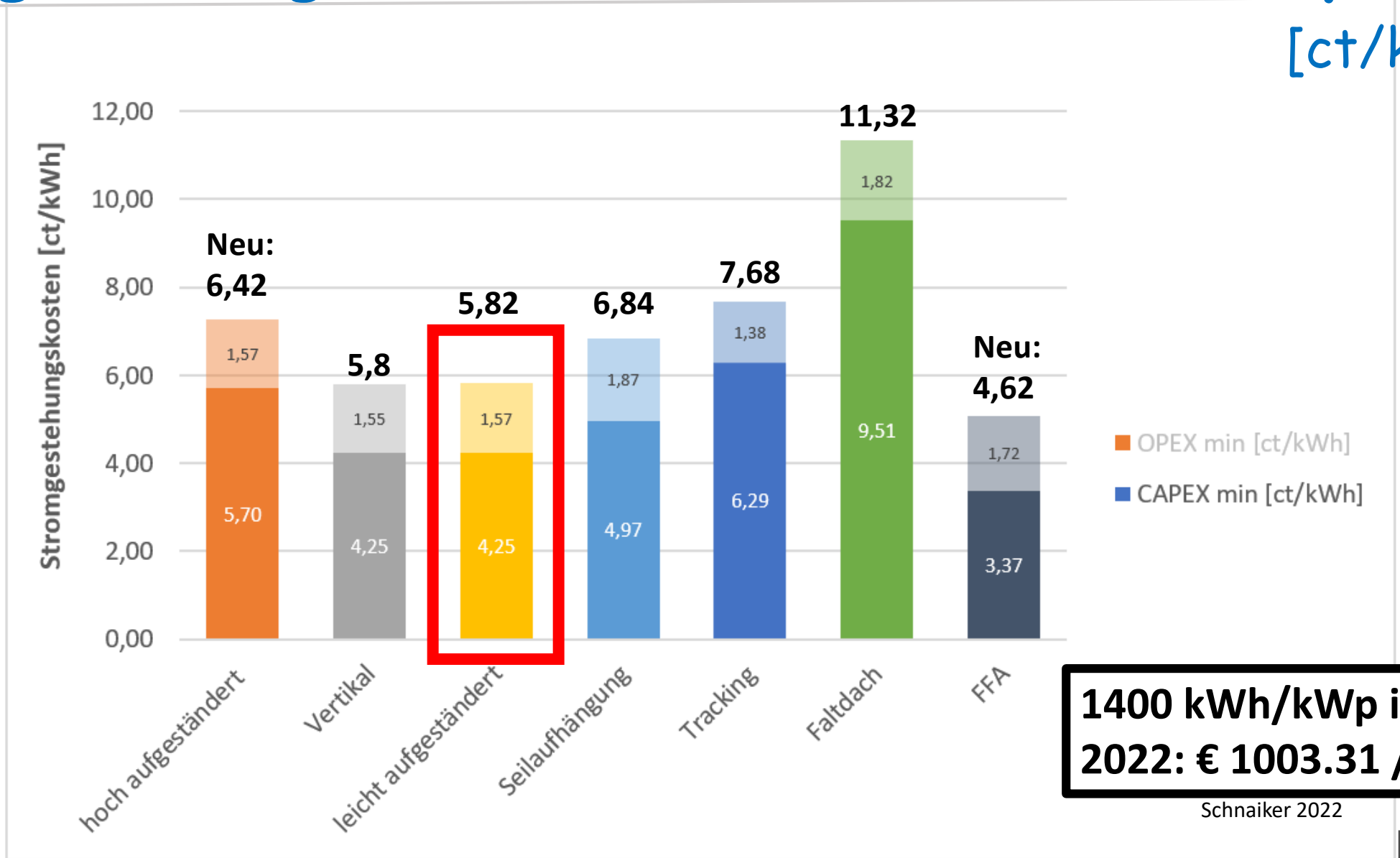
Vollmer&Wydra 2022

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



# Stromgestehungskosten verschiedener APV-Systeme

[ct/kWh]



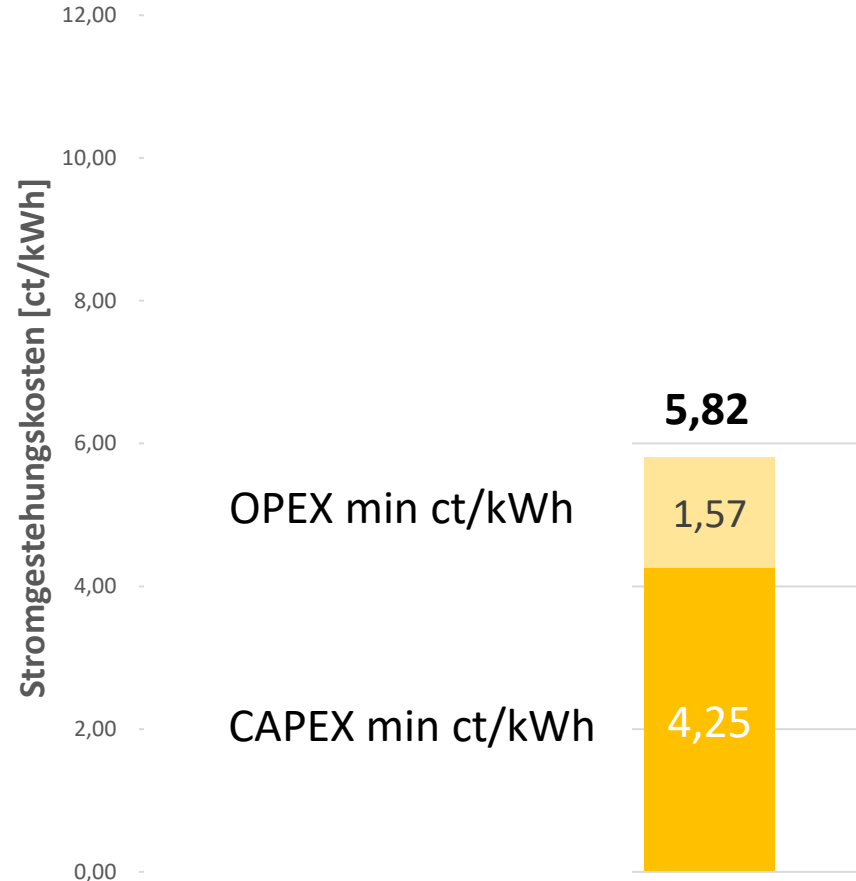
**1400 kWh/kWp im Jahr**  
**2022: € 1003.31 /kWp**

Schnaiker 2022

Vollmer&Wydra 2022

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

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



leicht aufgeständert

Vollmer, Wydra 2022

**Überschlagmäßige Berechnung bei Minimal-Kosten:**

**1 ha**

**Leistung: 700 kWp**

Investitionskosten: ca. 575.000 €/ha

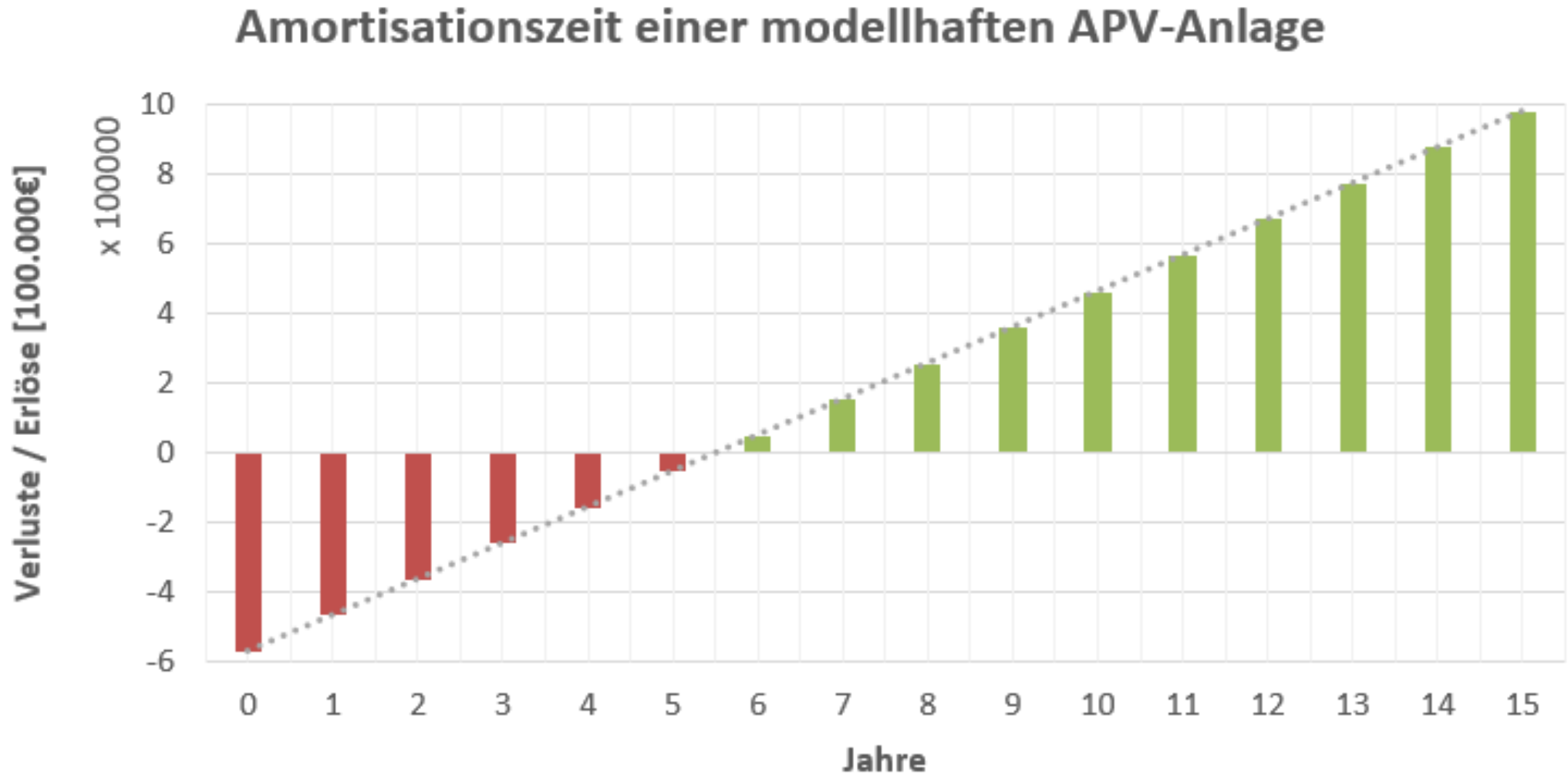
Jährliche Betriebskosten: 12.000 €/a

Stromertrag: 770 MWh/a

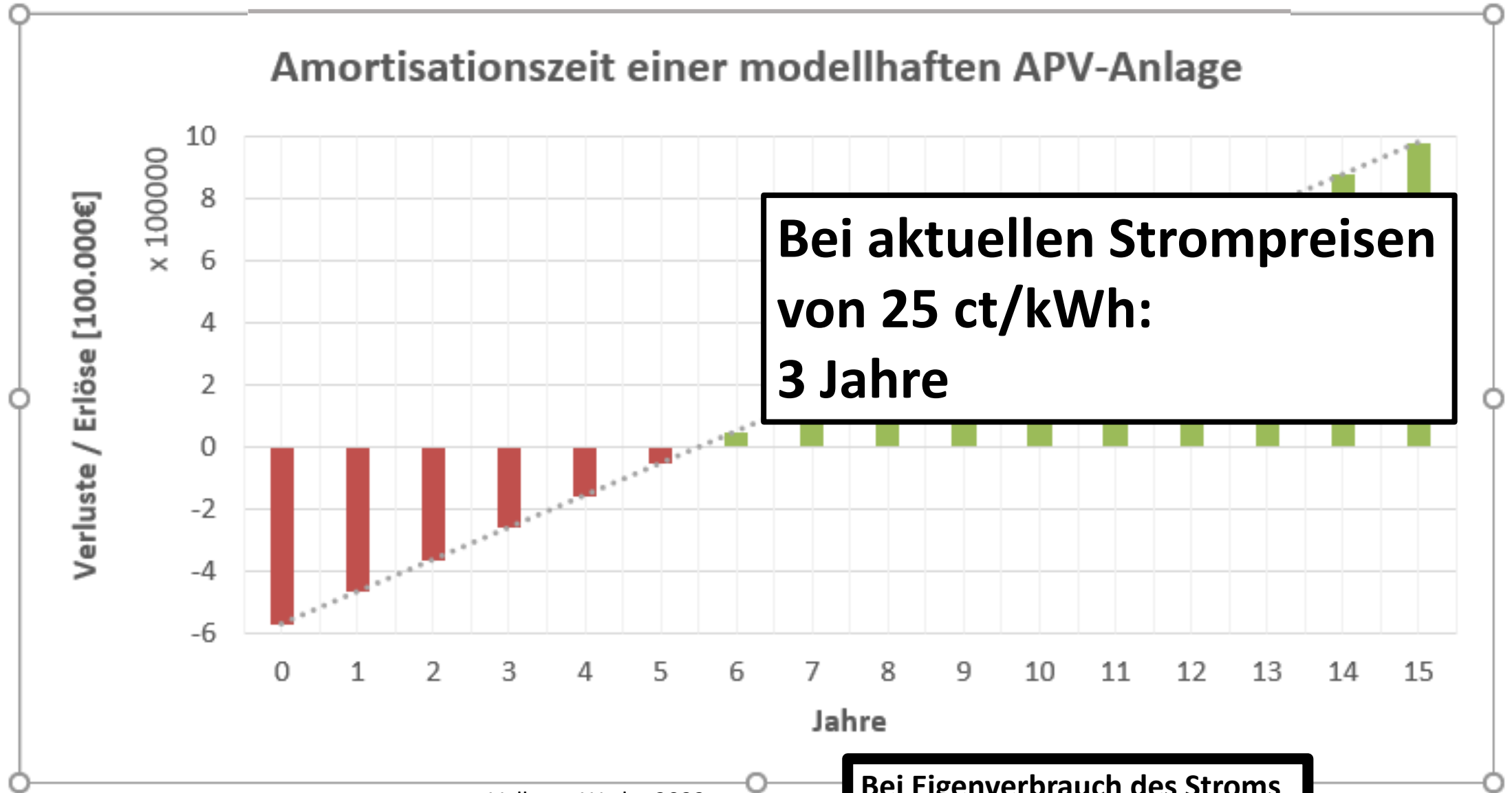
**Amortisationszeit:  
5,54 Jahre bei Eigenverbrauch**

Ohne Ertrag aus Anbaukultur

# Amortisationszeit einer modellhaften APV-Anlage (Idealbedingungen)



# Amortisationszeit einer modellhaften APV-Anlage (Idealbedingungen)



# Kostenvergleich von APV Systemen bezogen auf Fläche (ha)

	Hoch-aufgeständert	Vertikal	Leicht-aufgeständert	Seil	Tracking	Faltdach	PV-FFA
<b>Leistung</b> [kWp/ha]	600	395	700	530	875	530	1.000
<b>Ertrag</b> [MWh/ha]	660	435	770	489	1.150	502	1.100
<b>Stromgestehungskosten</b> [ct/kWh]	7,27	5,87	5,82	6,84	7,67	11,33	5,09
<b>Investitionskosten</b> [€/ha]	659.571	327.568	573.500	426.271	1.268.125	837.021	649.286
<b>Betriebskosten</b> [€/a]	10.344	6.810	12.068	9.137	15.873	9.137	18.920

Spezielle Bedingungen für leicht-aufgeständerte Anlagen s. Text

# Kostenvergleich von APV Systemen bezogen auf Fläche (ha)

**0,5 – 1,7 MWp / ha**

	Hoch- ndert	Vertikal	Leicht- ndert	Seil	Tracki	Faltda	PV-FFA
<b>Leistung</b> [kWp/ha]	600	395	700	530	875	530	1.000
<b>Ertrag</b> [MWh/ha]	660	435	770	489	1.150	502	1.100
<b>Stromgeste- hungskosten</b> [ct/kWh]	7,27	5,87	5,82	6,84	7,67	11,33	5,09
<b>Investitionskos- ten</b> [€/ha]	659.571	327.568	573.500	426.271	1.268.125	837.021	649.286
<b>Betriebskosten</b> [€/a]	10.344	6.810	12.068	9.137	15.873	9.137	18.920

## Erlös

zB:

1400 kWh/kWp im Jahr

bei 700 kWp/ha

= 980.000 kWh/ha x a

**1 Mio kWh/ha x a**

**x 6ct/kWh**

**= 60.000 Euro/ha pro Jahr**

**Eigenverbrauch:**

**x 15 ct/kWh**

**= 150.000 Euro/ha pro Jahr**

**x 25 ct/kWh**

**= 250.000 Euro/ha pro Jahr**

Flächenbedarf

# Flächenbedarf APV in D

Ausbauziel PV in D 2030: 132 GW

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

als rein APV: ca. 350.000 ha = 2% der LNF

....(1% der LNF)

Energiepflanzen in D: 2,2-2,5 Mio ha

Braunkohletagebau in D: 179.400 ha (= 3x Bodensee)



# Flächenbedarf APV in Thüringen

---

- **Flächenbedarf:** 5.000 ha APV (3,5 GW) + 3500 ha PV-FFA (3,5 GW)  
**8.500 ha**

- **Potential  
Ackerland + Dauerkulturen  
und Grünland:** 773.552 ha mit 491 GWp

**Bedarf 14 GW!  
(7GW)**

- Bei Teilersatz der **Energiepflanzen (110.000 ha):**  
max. ca. 77 GWp Strom + Nahrungsmittel

# Sozioökonomische Aspekte

# Partizipation

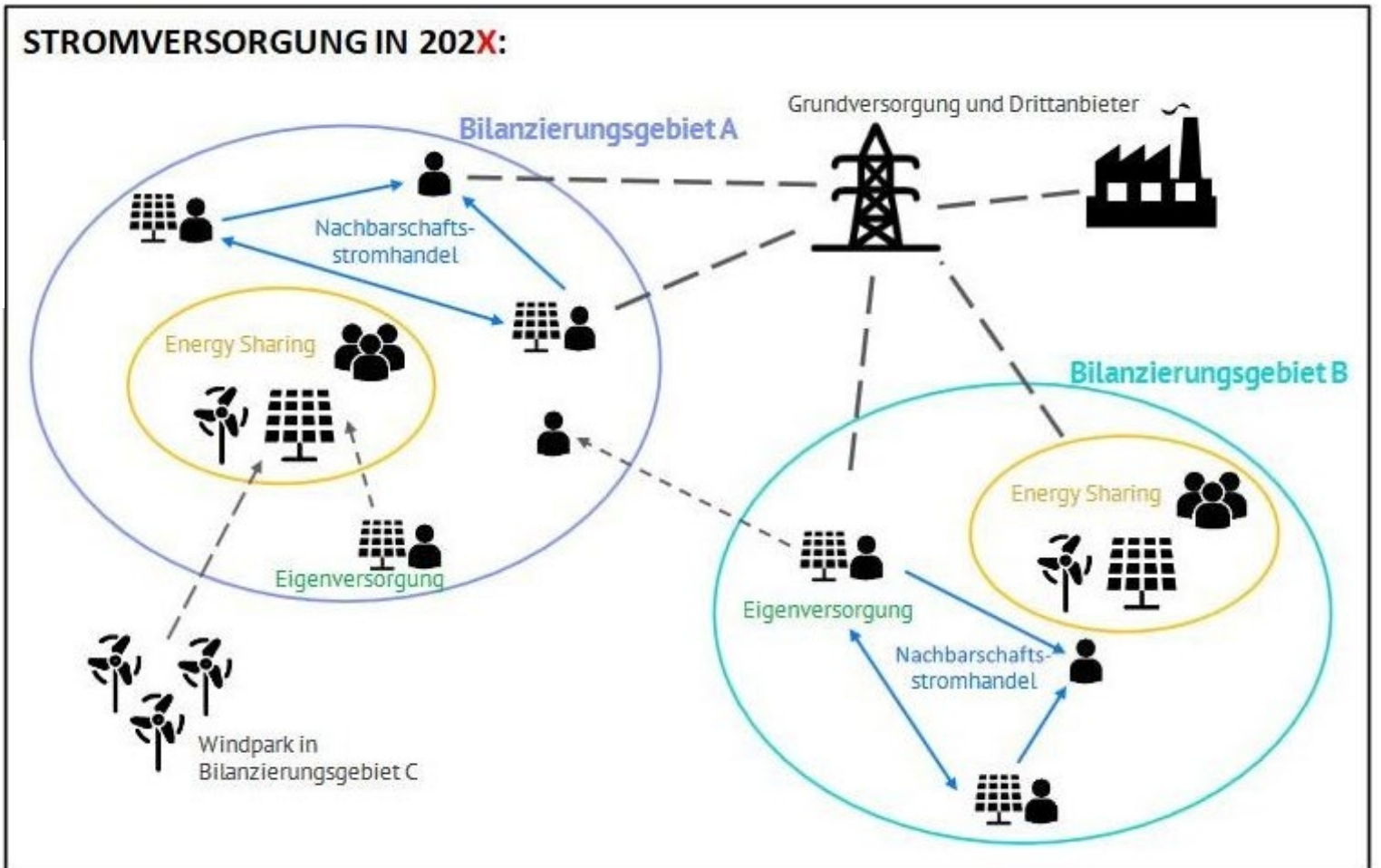
## Bürger\*innen, Kommunen, Landwirt\*innen, Energieversorger...

### Energiegemeinschaften als Schlüssel der Energiewende



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

Foto: Unsplash



# Partizipation

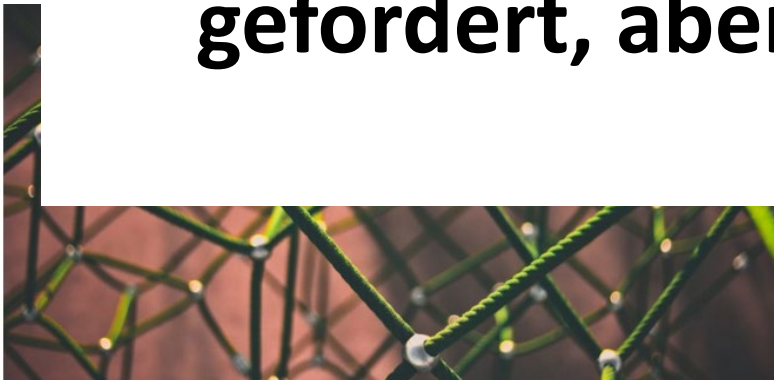
Bürger\*innen, Kommunen, Landwirt\*innen, Energieversorger...

Energiegemeinschaften als Schlüssel der Energiewende

STROMVERSORGUNG IN 202X:

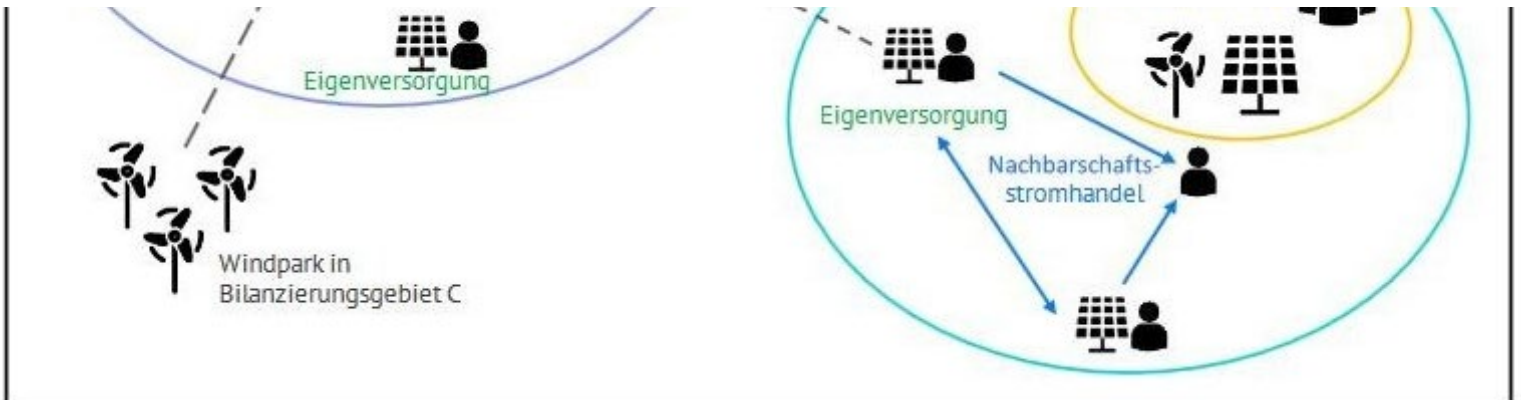


**Beteiligungsmodell „Energiegemeinschaft“ von EU gefordert, aber von D nicht eingerichtet, und nicht geplant!**



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

Foto: Unsplash



Genehmigungsverfahren  
/  
Regelungen

## 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  
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**

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

- 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**: Marktpreis
- **PPA: vorher – 5,5 ct/kWh, JETZT: 11,6 ct/kWh**
- 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, ...

# Forderungen....

- Bonus für APV nicht ausreichend, bes. Erhöhung f. kleine Anlagen, EEG-Förderung für Eigenverbrauch
- Einbezug von Grünland (OK!), und vertikale Anlagen als APV fördern
- Keine Naturschutzgutachten für landwirts. Flächen außer in def. NS-Gebieten (zB 0,2% in Thüringen)
- APV = Privilegierung als der „Landwirtschaft dienende Funktion“
- Deshalb: vereinfachte, standardisierte Genehmigungsverfahren (...Spargelfolie..)
- keine Umweltgutachten, keine Einzelfallprüfung für APV



# Forderungen....

- **Definierte Auflagen ....Leitlinie "gute APV-Praxis"**
- **Keine Genehmigungsverfahren und keine Deckelung für APV < 20 ha**
- **Entscheidung für Schutz der Kulturen (APV) liegt bei Landwirt\*in**
- **Unterstützung insbes. bäuerlicher Betriebe bei **Investitionen** (Landw. Rentenbank, zinslose Kredite)**
- **Vorrangige **Beteiligungsmöglichkeiten** für Landwirt\*innen, Bürger\*innen, Kommunen.....**
- **Durchgesetzte **Verpflichtung** der Netzbetreiber zur **Netzanbindung (!)****



Dupraz et al. 2011



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

**Vielen Dank!**



Elysium Solar



# Studie: Potential der Agri-Photovoltaik in Thüringen

- Politisches Umfeld
- Stand der Technik
- Naturverträglichkeit
- Anbauoptionen
- Rechtliche Rahmenbedingungen
- Wirtschaftlichkeit
- Handlungsempfehlungen an Politik

gefördert durch:



[SolarInput – Solar Energie weiter Denken](https://solarinput.de)

<https://solarinput.de>

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>

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>

# 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)

# 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.....

# 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

Genehmigungsverfahren  
/  
Regelungen

## Was besagt der § 35 BAUGB?

Agri-PV-Anlagen im bauplanungsrechtlichen Außenbereich sind zulässig, wenn

- > sie einem landwirtschaftlichen Betrieb dienen und nur einen untergeordneten Teil der Betriebsfläche einnehmen ( § 35 Abs. 1 Ziff.1) oder
- > einem gartenbaulichen Betrieb dienen § 35 Abs. 1 Ziff. 2):

Die PV-Nutzung muss also dem Betrieb als „mitgezogener“ Betriebsteil zugeordnet sein.

Die gewonnene Energie muss im Betrieb verbraucht werden (untergeordnete Bedeutung gegenüber der privilegierten Hauptnutzung).

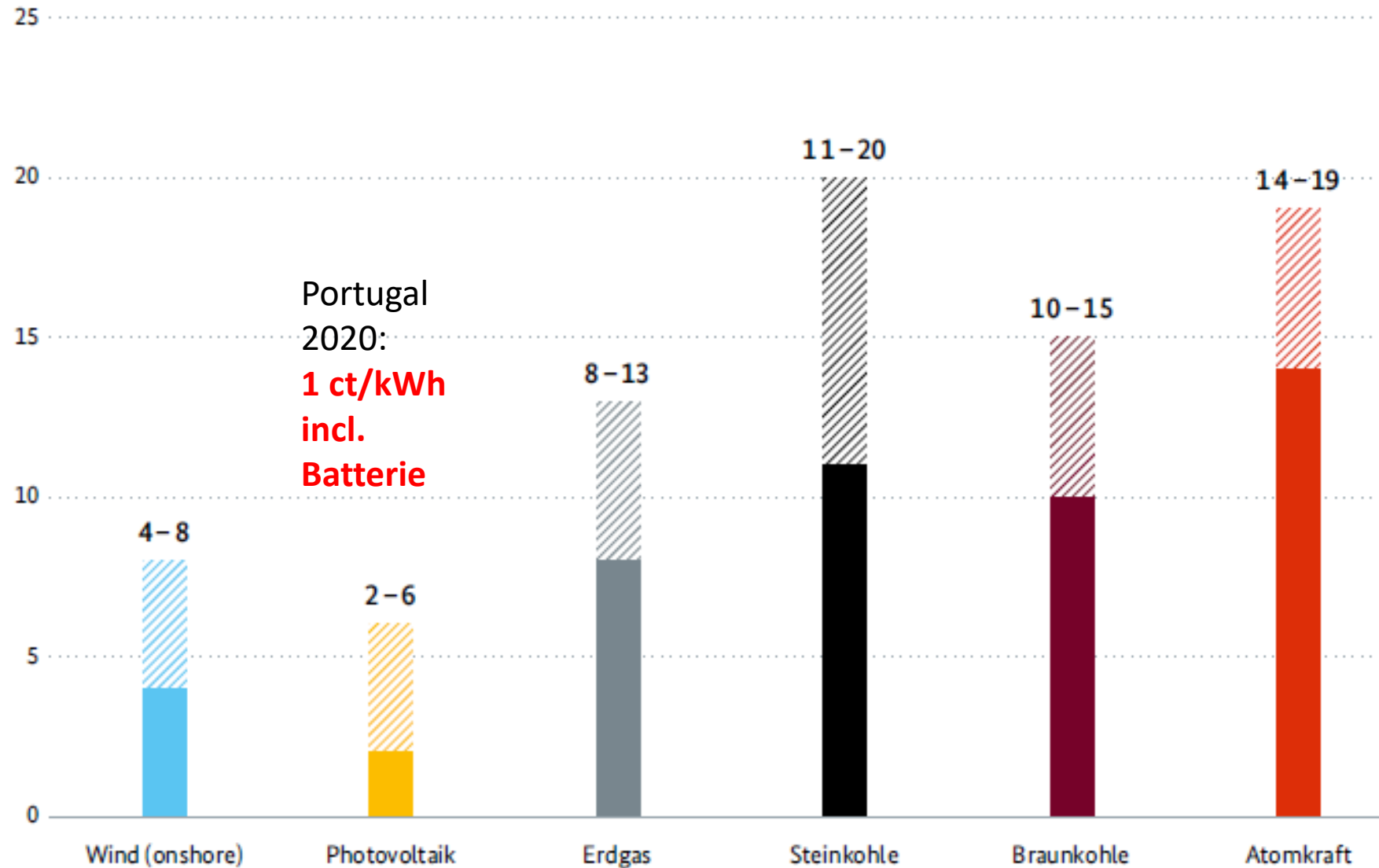
Dies bedeutet zunächst: Für Agri-PV-Anlagen im Außenbereich, die über diesen untergeordneten Nutzungsumfang hinausgehen, muss die Gemeinde planerische Voraussetzungen schaffen.

Wichtig ist eine entsprechende Konzeption **und Begründung** der Anlagen gegenüber der Genehmigungsbehörde, bei der die Schutzfunktion für die Pflanzen, den Boden und den Wasserhaushalt im Vordergrund stehen sollte

**Wirtschaftlichkeit**

# Kosten der Stromerzeugung in EU mit neuen Großkraftwerken

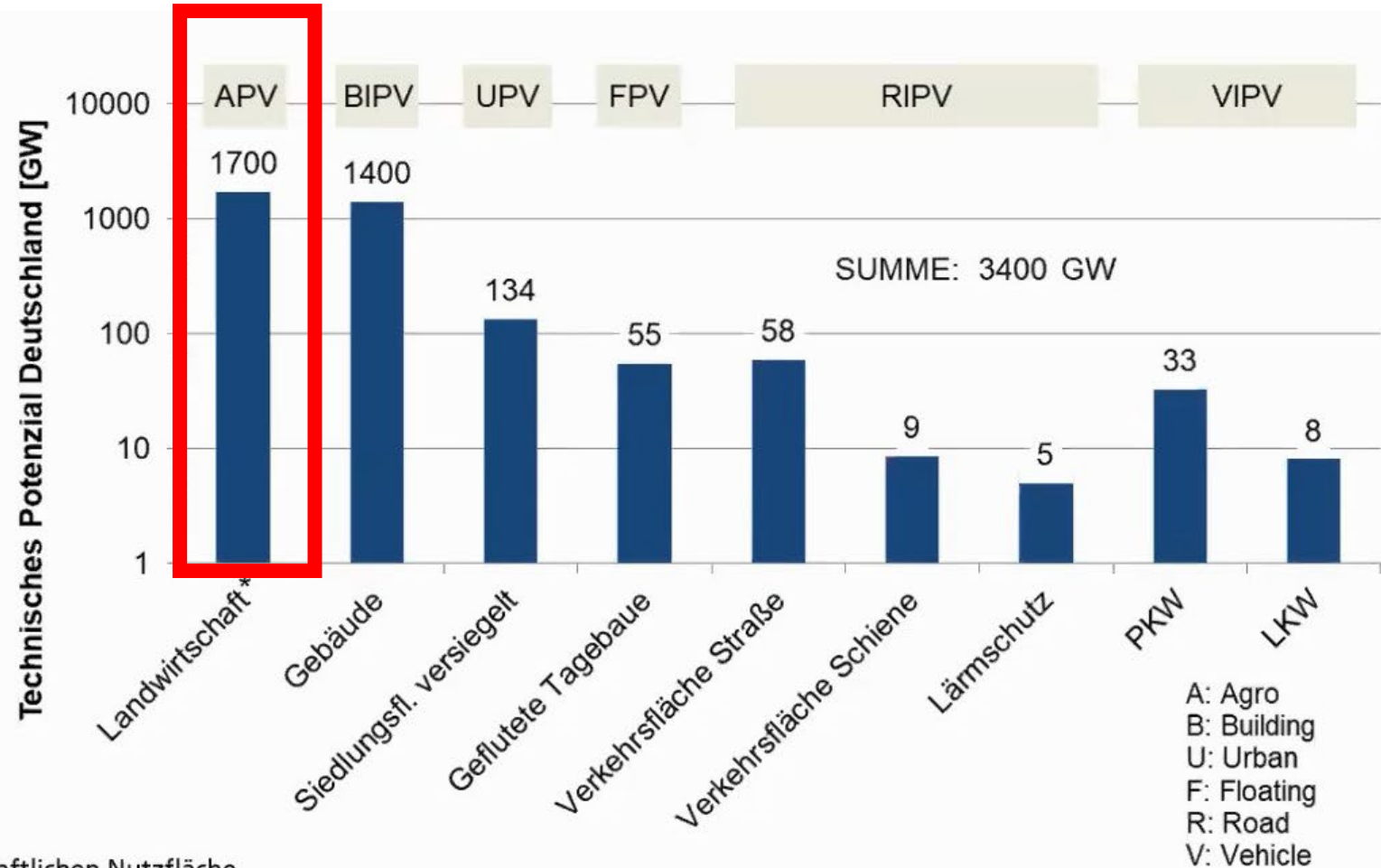
in Eurocent/kWh



# Potential Agri-Photovoltaik in Deutschland

## Technisches Potential:

Berücksichtigung technischer, infrastruktureller und ökologischer Einschränkungen



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



# Fraunhofer ISE: Photovoltaik hat die niedrigsten Stromgestehungskosten in Deutschland

Der neuen Studie zu den Stromgestehungskosten des Freiburger Instituts zufolge kommen Photovoltaik-Anlagen auf Werte zwischen 3.71 und 11.54 Eurocent pro Kilowattstunde. Für die Zukunft sehen die Wissenschaftler weiterhin großes Kostensenkungspotenzial.

20. MÄRZ 2018 DANIEL SEEGER

<https://www.pv-magazine.de/2018/03/20/fraunhofer-ise-photovoltaik-hat-niedrigsten-stromgestehungskosten-in-deutschland/>



Photovoltaik-Freiflächenanlagen sind teilweise schon heute wirtschaftlicher als Braunkohlekraftwerke

Foto: Fotolia/Reinhard Tiburzy

# Stromgestehungskosten, Stromerzeugung, CO<sub>2</sub>: APV-System 2. Generation (bis 66% weniger Stahl)

---

- **6.42 ct/kWh**

*1. Gen.: 8.29 ct/kWh* (Schindele et al. 2020)

- **€ 1003.31 /kWp**

*1. Gen.: € 1294.20 /kWp*

- Jährl. Stromerzeugung: **1400 kWh/kWp**

- **977.2 kg CO<sub>2</sub> eq/kWp**

(bamboo design)

*1. Gen.: 1279 kgCO<sub>2</sub>eq/kWp*

# 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

# Stromerzeugung auf der Fläche: Vergleich Energiepflanzen / APV

---

## Stromerzeugung (Nennleistung Energie)

1 ha Silomais  
1 ha APV

0,19 MWp/ha  
**0,700 MWp**

Wirkungsgrad (Strahlung): 0,2%  
**16-18 %**

**Faktor 32**

## Biokraftstoffen

1 ha Raps  
1 ha APV

PKW (Diesel-Motor, 5,5 l Biodiesel/100 km)  
E-Auto

32.000 km  
**3.750.000 km**

**Faktor 116**

(FNR, 2020  
Fraunhofer ISE 2021)

# Investitionskosten verschiedener APV Systeme

	Parameter	Hoch-auf-geständert	Vertikal	Leicht-auf-geständert	Seilauf-hängung	Tra-cking	Faltdach	PV-FFA
Parameter	<u>Modultyp</u>	Standard	<u>bifazial</u>	Standard	Leichtbau	Tracking	Falt-/Leichtbau	Standard
	Leistungsdichte Stromertrag [kW/ha]	600 <sup>1</sup>	395 <sup>6</sup>	700 <sup>1</sup>	530 <sup>10</sup>	350	530 <sup>10</sup>	1.000 <sup>1</sup>
	spezifische Stromerzeugung [kWh/kWp]*	1.100 <sup>1,2</sup>	1.114 <sup>7</sup>	1.100 <sup>1,2</sup>	923 <sup>10</sup>	75 <sup>6</sup>	947 <sup>10</sup>	1.100 <sup>11</sup>
	Reihenabstand [m]	18	10	4	40	200 <sup>5</sup>	50	2
	Flächeneinbuße maximal [%]	10 <sup>3</sup>	15 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	100 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	100
	Lichte Höhe [m]	6	<2,1	3	5	15 <sup>4</sup>	3	1
Investitionskosten [€/kWp]	Module	220 <sup>4</sup>	250 <sup>2</sup>	220 <sup>1</sup>	350	350	900 <sup>5,10</sup>	220 <sup>1</sup>
	Unterkonstruktion	400 <sup>1</sup>	200 <sup>1</sup>	220 <sup>1</sup>	75 <sup>6</sup>	75 <sup>6</sup>	300 <sup>5,10</sup>	100 <sup>1</sup>
	Standortvorbereitung, Installation	300 <sup>1,4</sup>	200 <sup>1</sup>	200 <sup>12</sup>	200 <sup>5</sup>	200 <sup>5</sup>	200 <sup>5,10</sup>	150 <sup>4</sup>
	Wechselrichter	100 <sup>15</sup>	100 <sup>5</sup>	100 <sup>5</sup>	100 <sup>5</sup>	100 <sup>5</sup>	100 <sup>5</sup>	100 <sup>5,6</sup>
	Elektrische Komponenten	15 <sup>4</sup>	395 <sup>6</sup>	15 <sup>4</sup>	15 <sup>4</sup>	15 <sup>4</sup>	15 <sup>4</sup>	15 <sup>4</sup>
	Netzanbindung	64 <sup>12</sup>	64 <sup>12</sup>	64 <sup>12</sup>	64 <sup>12</sup>	64 <sup>12</sup>	64 <sup>12</sup>	64 <sup>12</sup>
	<i>Genehmigung</i>	<i>200<sup>12</sup></i>	<i>200<sup>12</sup></i>	<i>200<sup>12</sup></i>	<i>200<sup>12</sup></i>	<i>200<sup>12</sup></i>	<i>200<sup>12</sup></i>	<i>200<sup>12</sup></i>
	<i>Wassersystem</i>	<i>5,33<sup>9</sup></i>	<i>0,0<sup>9</sup></i>	<i>5,33<sup>9</sup></i>	<i>5,33<sup>9</sup></i>	<i>0,0<sup>9</sup></i>	<i>5,33<sup>9</sup></i>	<i>0,0<sup>9</sup></i>
	<i>Umzäunung</i>	<i>0<sup>4</sup></i>	<i>18<sup>2</sup></i>	<i>0<sup>4</sup></i>	<i>0<sup>4</sup></i>	<i>0<sup>4</sup></i>	<i>0<sup>4</sup></i>	<i>18<sup>2</sup></i>
	<b>CAPEX min [ct/kWh]</b>	<b>5,70</b>	<b>4,25</b>	<b>4,25</b>	<b>4,97</b>	<b>6,29</b>	<b>9,51</b>	<b>3,37</b>
<u>CAPEX max [ct/kWh]</u>	6,77	5,36	5,31	6,24	7,16	10,75	4,50	

# Parameter einer 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>

Reihenabstand 4m

1.100 kWh/kWp  
770.000 kWh/a

**Investitionskosten: 573.500**  
**Betriebskosten: 12.000/a**  
**über 25 Jahre**

Stromertrag:  
770.000 kWh/a

Strombezugskosten: 15 ct/kWh  
Erlös: 115.500 Euro/a

# Berechnung beispielhafte APV-Anlage auf einem Hektar Fläche

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	70,713
ROI statisch	a	5,54
Stromgestehungskosten	ct/kWh	5,82
Rendite	%/a	3,53

Reihenabstand 4m

1.100 kWh/kWp

770.000 kWh/a

**Investitionskosten: 573.500**

**Betriebskosten: 12.000/a**

**über 25 Jahre**

Stromertrag:

770.000 kWh/a

Strombezugskosten: 15 ct/kWh

Erlös: 115.500 Euro/a



# Stromgestehungskosten, Stromerzeugung, CO<sub>2</sub>: APV-System 2. Generation (bis 66% weniger Stahl)

---

- **6.42 ct/kWh**

*1. Gen.: 8.29 ct/kWh* (Schindele et al. 2020)

- **€ 1003.31 /kWp**

*1. Gen.: € 1294.20 /kWp*

- Jährl. Stromerzeugung: **1400 kWh/kWp**

- **977.2 kg CO<sub>2</sub> eq/kWp**

(bamboo design)

*1. Gen.: 1279 kgCO<sub>2</sub>eq/kWp*

# Betriebskosten verschiedener APV Systeme

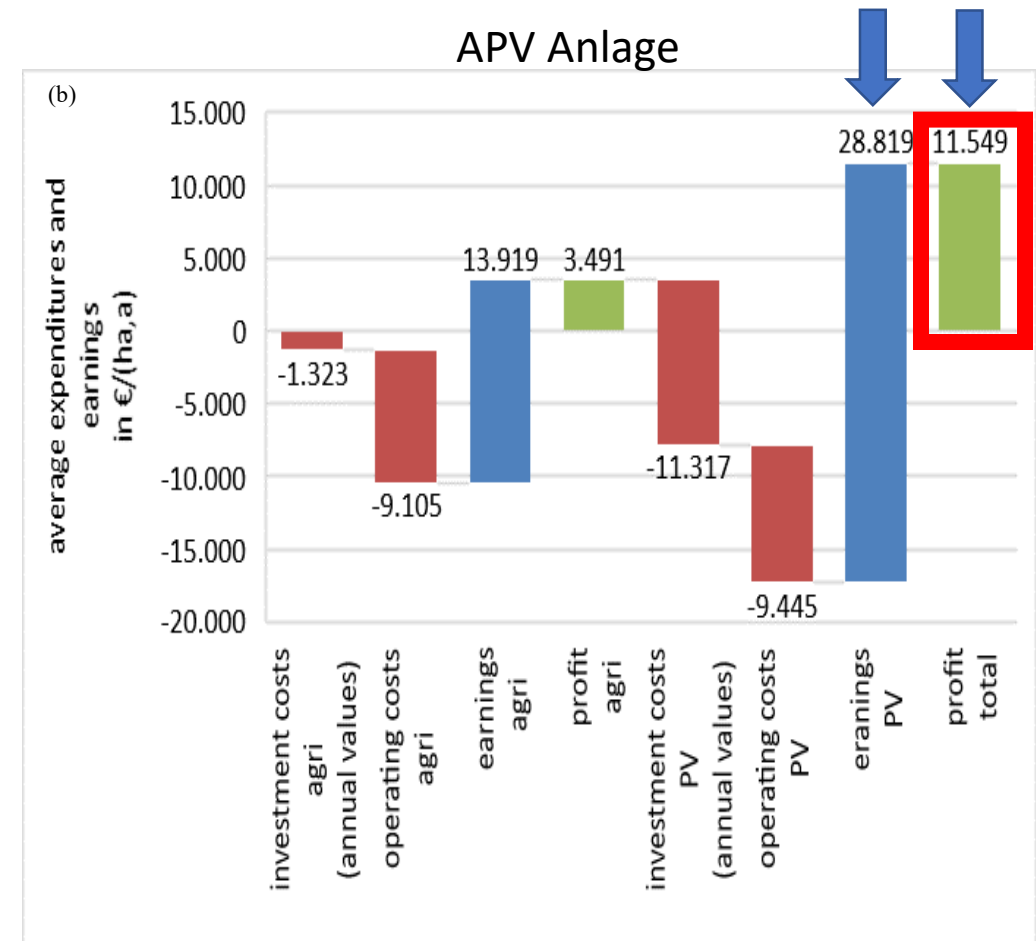
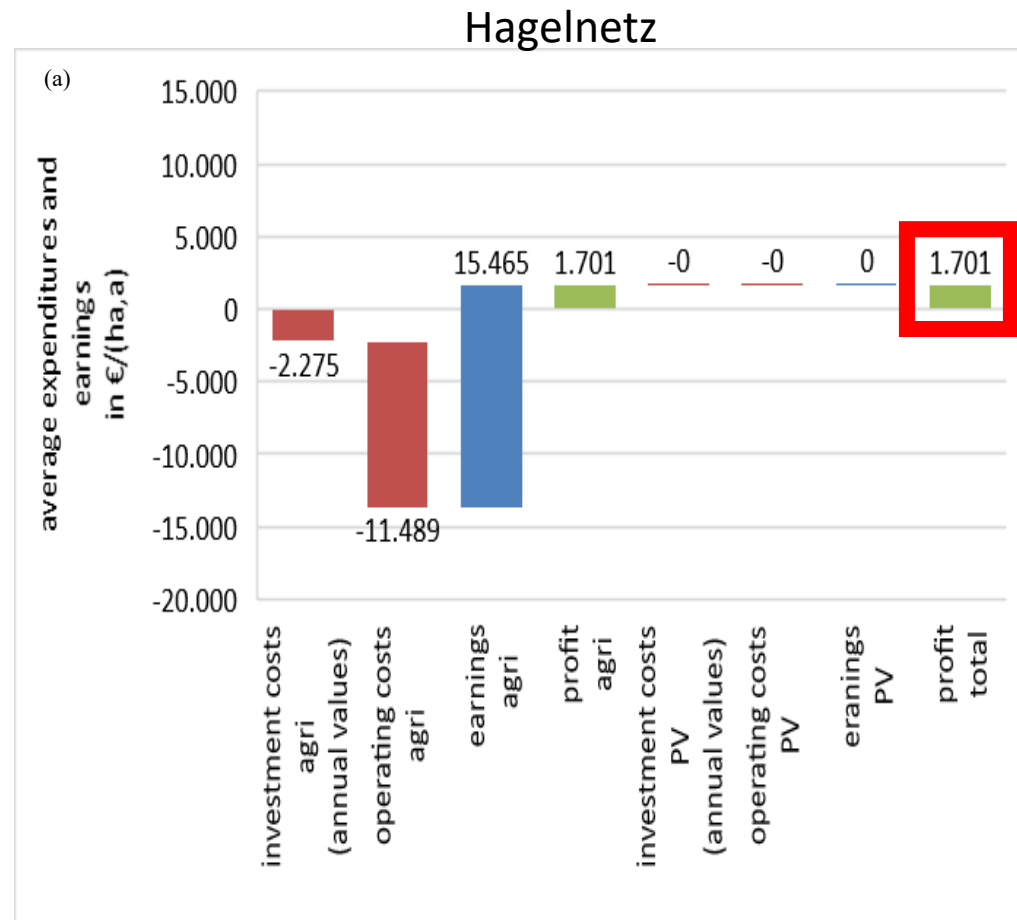
	Parameter	Hoch-auf- geständert	Vertikal	Leicht-auf- geständert	Seilauf- hängung	Tra- cking	Faltdach	PV-FFA
Betriebskosten [€/kWp-a]	Versicherungen	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	3 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>
	Wartung, Reparaturen	1,7 <sup>4</sup>	1,7 <sup>4</sup>	1,7 <sup>4</sup>	1,7 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	1,7 <sup>4</sup>	1,5 <sup>4</sup>
	kaufmännische Betriebsführung	5,5 <sup>4</sup>	5,5 <sup>4</sup>	5,5 <sup>4</sup>	5,5 <sup>4</sup>	5,5 <sup>4</sup>	5,5 <sup>4</sup>	5,5 <sup>4</sup>
	Reserve	1 <sup>4</sup>	1 <sup>4</sup>	1 <sup>4</sup>	1 <sup>4</sup>	1 <sup>4</sup>	1 <sup>4</sup>	1 <sup>4</sup>
	Sicherheitsüberwachung	1,44 <sup>4</sup>	1,44 <sup>4</sup>	1,44 <sup>4</sup>	1,44 <sup>4</sup>	1,44 <sup>4</sup>	1,44 <sup>4</sup>	1,8 <sup>4</sup>
	Monitoring	2,4 <sup>4</sup>	2,4 <sup>4</sup>	2,4 <sup>4</sup>	2,4 <sup>4</sup>	2,4 <sup>4</sup>	2,4 <sup>4</sup>	2,4 <sup>4</sup>
	Instandhaltung, Flächenpflege	0,08 <sup>4</sup>	0,08 <sup>4</sup>	0,08 <sup>4</sup>	0,08 <sup>4</sup>	0,08 <sup>4</sup>	0,08 <sup>4</sup>	1,6 <sup>4</sup>
	Verwaltungskosten	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>4</sup>
	Sonstiges	1,1 <sup>4</sup>	1,1 <sup>4</sup>	1,1 <sup>4</sup>	1,1 <sup>4</sup>	1,1 <sup>4</sup>	1,1 <sup>4</sup>	1,1 <sup>4</sup>
	<i>Reinigung</i>	9 <sup>5</sup>	3 <sup>1</sup>	3 <sup>1,9</sup>	9 <sup>5</sup>	12 <sup>5</sup>	12 <sup>5</sup>	3 <sup>1</sup>
	<i>Flächenpacht</i>	1,3 <sup>4</sup>	1,6 <sup>8</sup>	1,7 <sup>4</sup>	1,7 <sup>4</sup>	1,3 <sup>4</sup>	1,3 <sup>4</sup>	3 <sup>1</sup>
	<b>OPEX min [ct/kWh]</b>	<b>1,57</b>	<b>1,55</b>	<b>1,57</b>	<b>1,87</b>	<b>1,36</b>	<b>1,82</b>	<b>1,72</b>
	OPEX <u>max</u> [ct/kWh]	2,50	1,96	1,99	3,02	2,39	3,22	2,27
LCOE	Stromgestehungskosten min [ct/kWh]	7,27	5,79	5,82	6,84	7,65	11,33	5,09
	Stromgestehungskosten <u>max</u> [ct/kWh]	9,27	7,32	7,31	9,27	9,53	13,97	6,76

<b>1. PV-Anlagendimensionierung</b>		
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
<b>2. Investitionskosten</b>		
spezifische Investitionskosten	819	€/kWp
Investitionssumme	573.500	€
Kalkulationszins	5	%
Preissteigerung / Jahr	2	%
korrigierter Zinsfaktor	0,02941	%
Annuitätenfaktor	0,05705	%/a
Nutzungsdauer	25	a
Annuität & Kapitaldienst	32.719,39	€/a
<b>3. Erlöse</b>		
Aktueller Strompreis Netto (gewerblich)	15,00	ct/kWh

# Betriebskosten leicht aufgeständerter APV (700 kWp/ha) pro ha

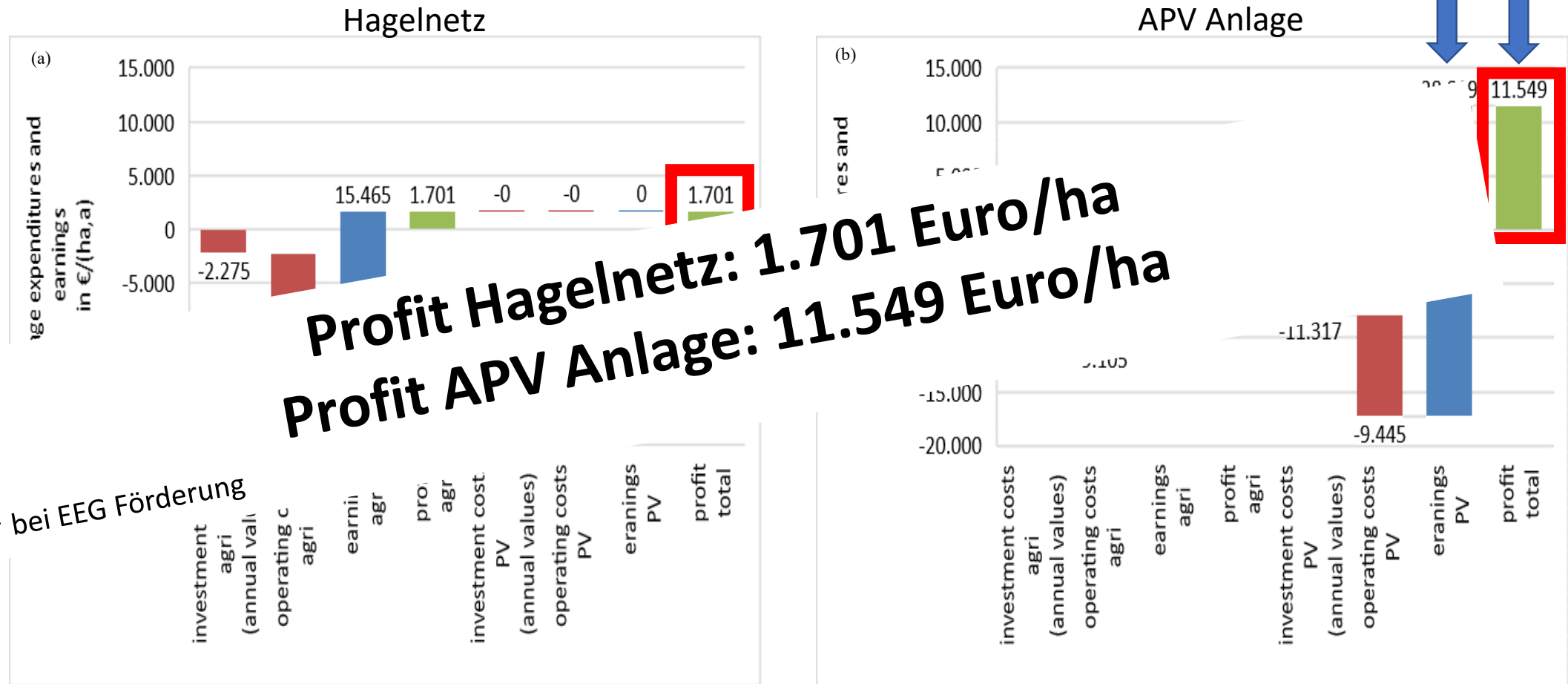
Betriebskosten		
Versicherungen	T€/a	1,40
Wartung, Reparaturen	T€/a	1,19
kaufmännische Betriebsführung	T€/a	3,85
Reserve	T€/a	0,70
Sicherheitsüberwachung	T€/a	1,008
Monitoring	T €/a	1,68
Instandhaltung, Flächenpflege	T €/a	0,056
Inflation	T €/a	0,014
Verwaltungskosten	T €/a	1,40
Sonstiges	T €/a	0,77
Reinigung	T €/a	0
Flächenpacht	T €/a	0
<b>OPEX</b>	<b>T€/a</b>	<b>12,068</b>

# 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



\* bei EEG Förderung

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

# APV-Effekte Grünland

---

## Beispiele (wiss. Untersuchungen)

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

August 2020



Quelle: BayWa r.e.



Fruitvoltaic-Anlage:

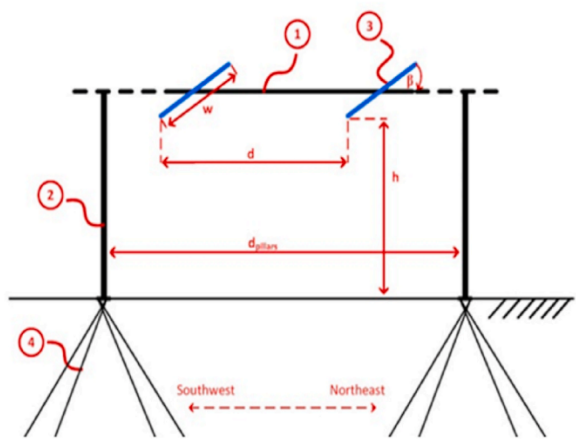
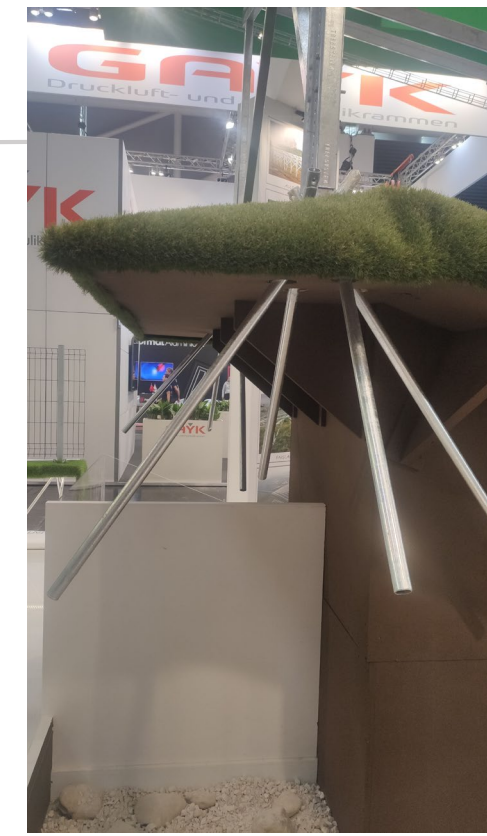
- Solarstromquelle: **1,2 MWp**, mehr als 4.500 Solarmodule
- Strom für 400 Haushalte pro Jahr
- 4.500 Johannisbeersträucher
- **23 Tonnen Ernte** pro Jahr
- günstigere, niedrigere Temperaturen für Pflanzen (bis 10°C kühler)
- Schutz vor ungünstigen Wetterbedingungen
- Rückgang Pilzbefall
- Reduktion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



Birnen



# Trends und Innovationen



## Spinnanker

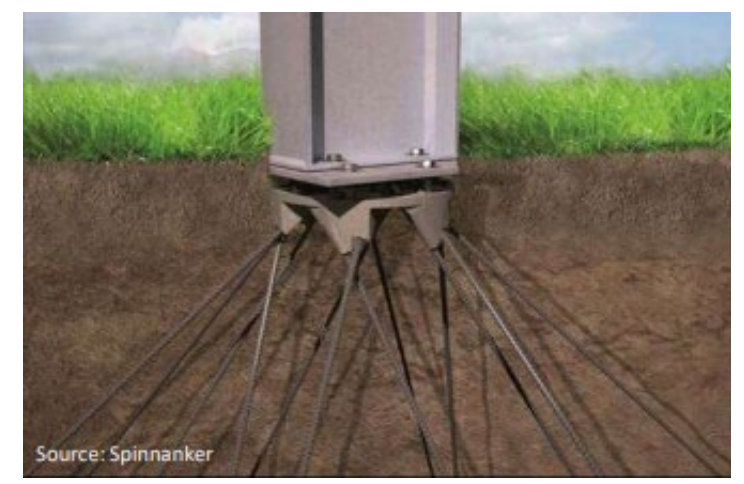


Fig. 1. Sketch of lateral view of an APV system. 1 = longitudinal beam, 2 = pillar, 3 = PV module, 4 = Spinnanker foundation;  $w$  = module width,  $\beta$  = tilt angle,  $d$  = row distance,  $d_{pillar}$  = width clearance,  $h$  = vertical clearance.

Source: Spinnanker



© 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

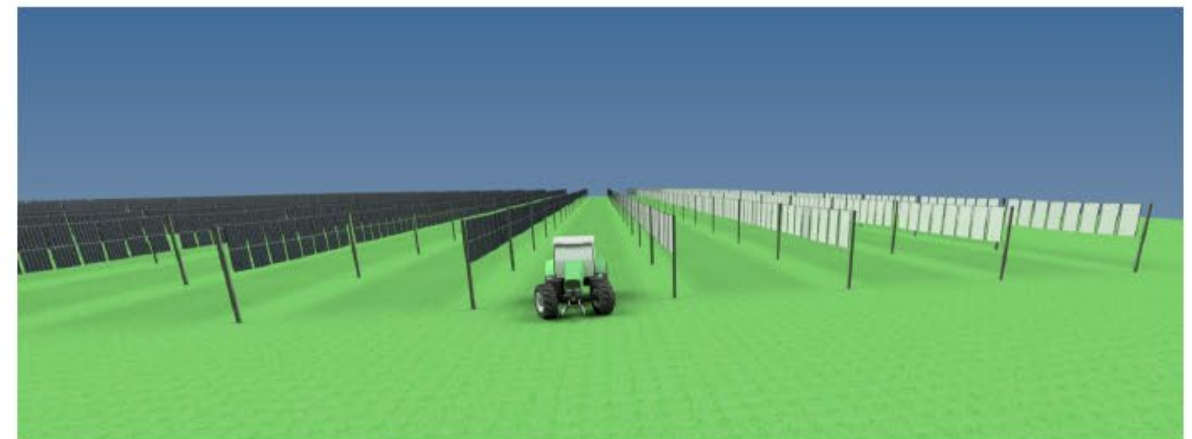
**Abstand zwischen Pfeilern: 40m**

## VeCon Vertical Agri-PV



- Abstand zwischen zwei Reihen kann je nach Feldnutzung gewählt werden
- Deutliche Gewichtsreduzierung der Stahlkonstruktion im Vergleich zu aktuellen Vertikalsystemen
- Ressourcenschonendes Konzept durch geringen Stahlbedarf
- Hohe Einsparungen bei Baukosten durch geringeren Bedarf an Rammfundamenten
- Patentiertes System
  - Lichte Höhe >2m möglich
  - <5% Flächenverlust

In Entwicklung, Pilot 2023, Markt 2024



# 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)

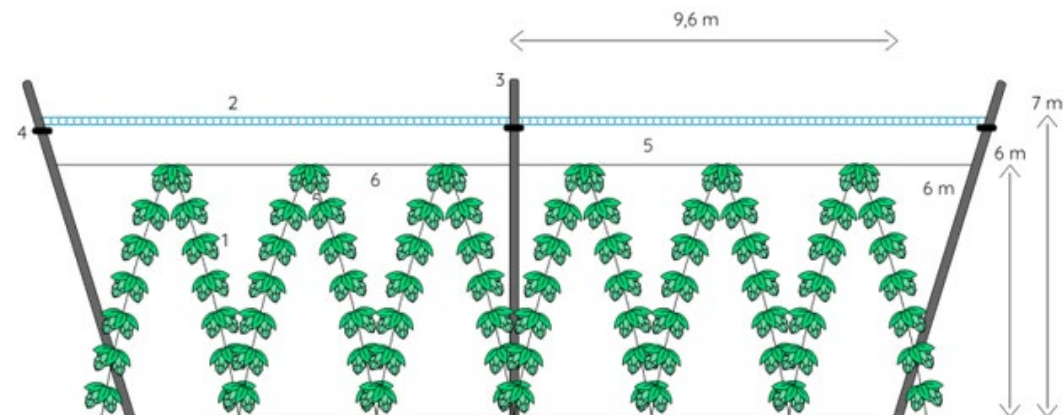


# APV Bodennah - Anbau zwischen / unter

Schafhaltung,  
Gemüse ....

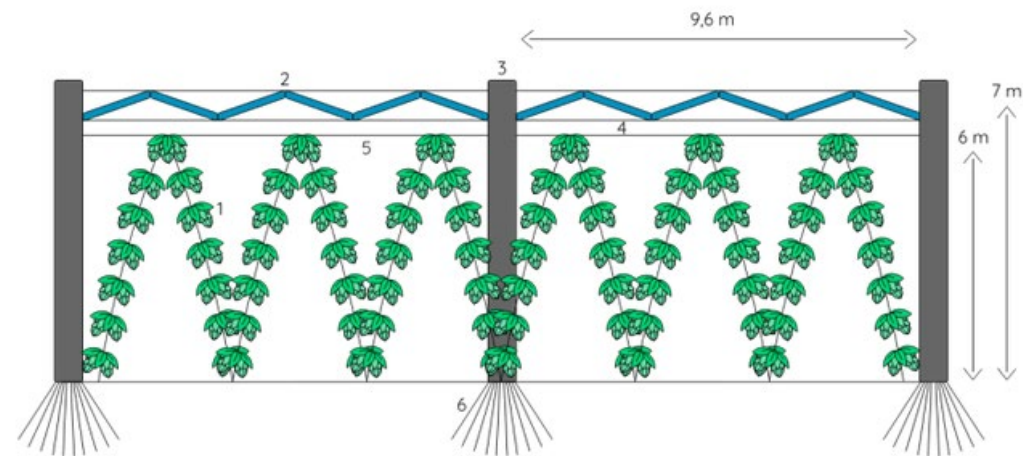


# Hopfenanbau: Röhren oder bifaziale Module



1 Hopfenpflanzen 2 Röhrenmodule 3 Betonmasten 4 Schellen 5 Lichte Höhe 1 m 6 Hopfendraht

Agri-PV-Anlage im Hopfenbau mit Röhren-Modulen



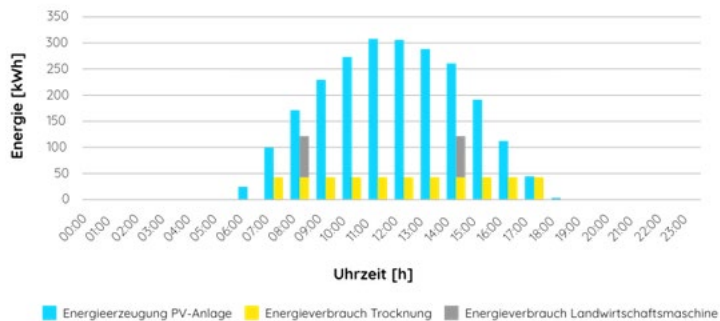
1 Hopfenpflanzen 2 Standard-Glas-Glas-Module 3 Stahlträger 4 Lichte Höhe 1 m 5 Hopfendraht 6 Spinnanker

Agri-PV-Anlage mit bifazialen Modulen

## Hopfen-Agri-PV: Effiziente Flächennutzung mit großem Potenzial für die Energiewende

16. Dezember 2022

Vergleich Energieerzeugung und Energieverbrauch



# Kostenvergleich von APV Systemen bezogen auf Fläche (ha)

	Hoch-aufgeständert	Vertikal	Leicht-aufgeständert	Seil	Tracking	Faltdach	PV-FFA
<b>Leistung</b> [kWp/ha]	600	395	700	530	875	530	1.000
<b>Ertrag</b> [MWh/ha]	660	435	770	489	1.150	502	1.100
<b>Stromgestehungskosten</b> [ct/kWh]	7,27	5,87	5,82	6,84	7,67	11,33	5,09
<b>Investitionskosten</b> [€/ha]	659.571	327.568	573.500	426.271	1.268.125	837.021	649.286
<b>Betriebskosten</b> [€/a]	10.344	6.810	12.068	9.137	15.873	9.137	18.920
<b>Amortisationszeit</b> [a]	7,44	5,03	5,54	6,64	8,10	12,87	3,94

## Erlös

zB:

1400 kWh/kWp im Jahr

bei 700 kWp/ha

= 980.000 kWh/ha x a

1 Mio kWh/ha x a

x 6ct/kWh

= 58.800 Euro/ha pro Jahr

Eigenverbrauch:

x 15 ct/kWh

= 150.000 Euro/ha pro Jahr

x 25 ct/kWh

= 250.000 Euro/ha pro Jahr


Spezielle Bedingungen für leicht-aufgeständerte Anlagen s. Text

bezogen auf 25 Jahre und Eigenverbrauch

## 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





Bearbeitung mit konventionellen Geräten  
4m Höhe

Montpellier, Frankreich

Dupraz et al. 2011