

Übersicht zu APV Systemen und Anbaukulturen

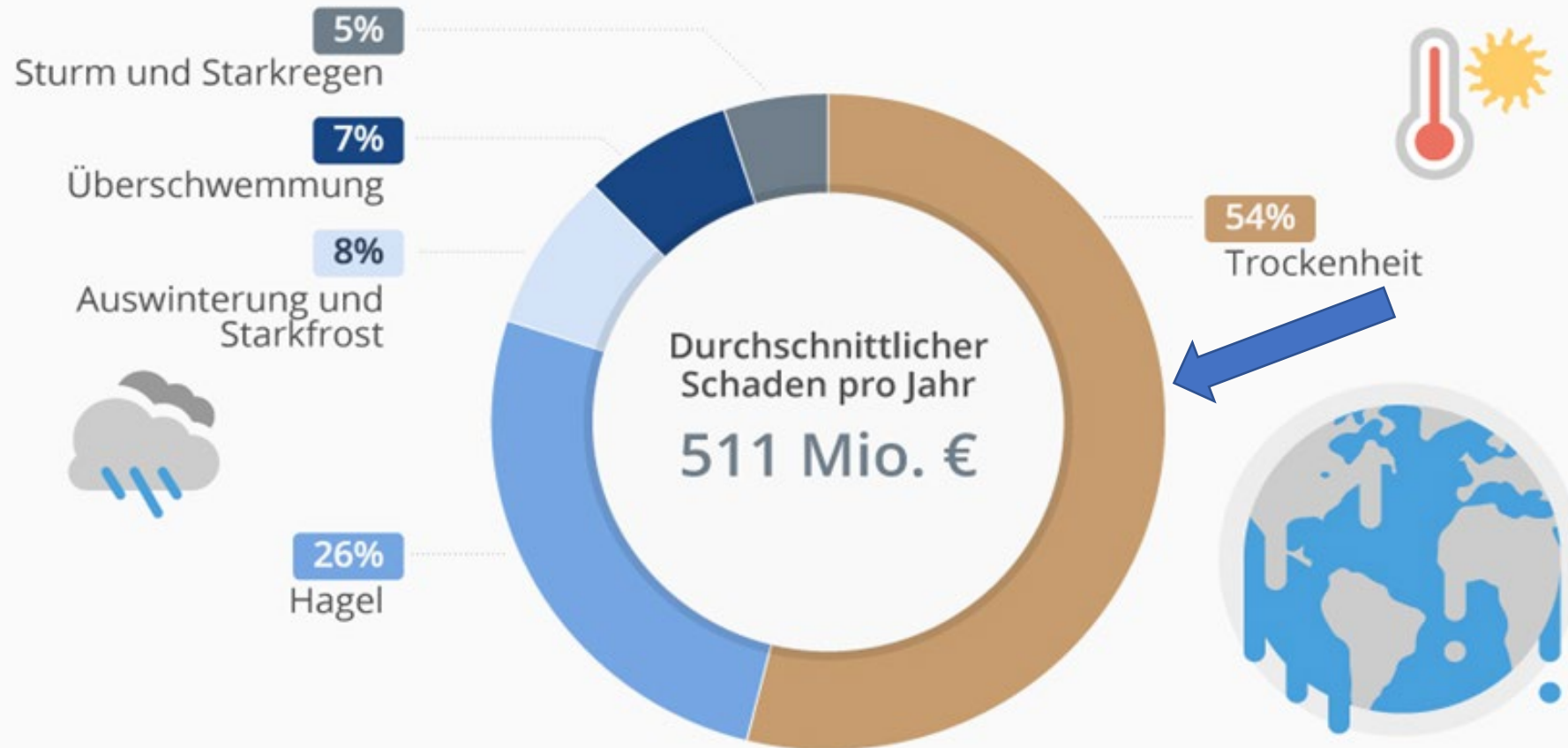


Prof. Dr. sc. agr. habil. Kerstin Wydra
Pflanzenproduktion im Klimawandel
Fachhochschule Erfurt
Solarinput e.V., Mitglied AbL

**Klimawandel
&
Landwirtschaft
&
Artenverlust**

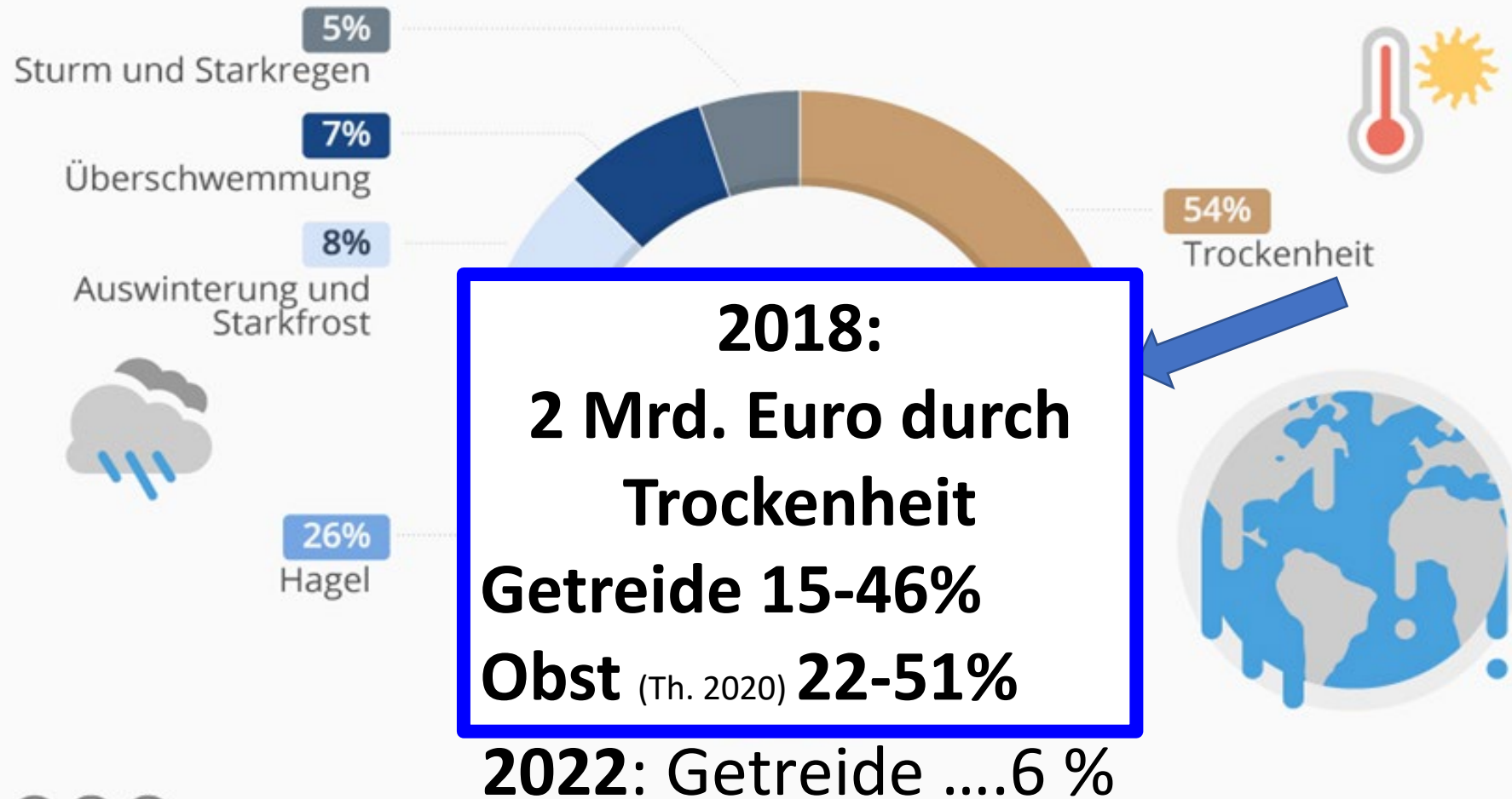
Ernteschäden durch Wetterextreme in D

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



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)

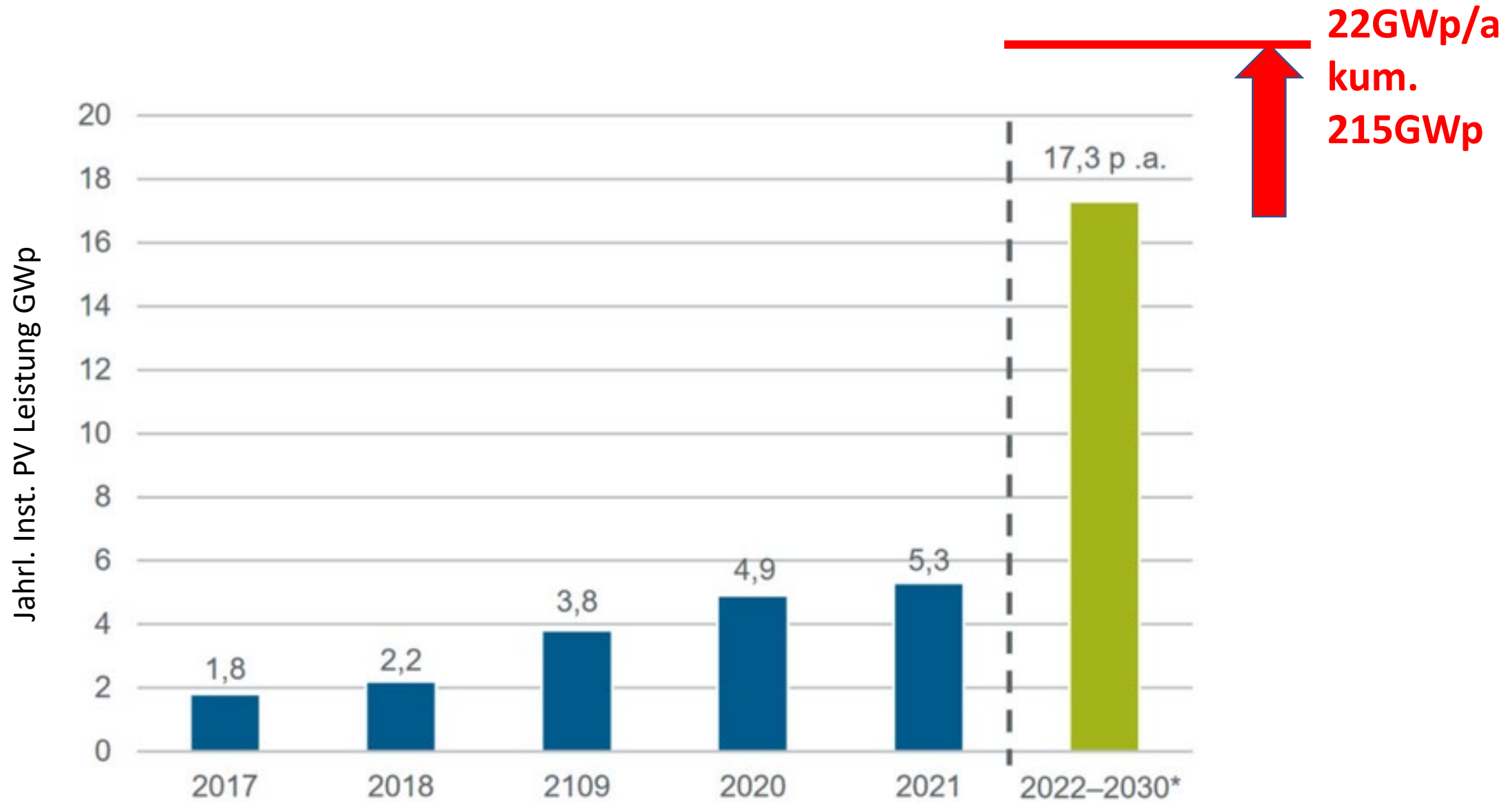
Extinction risk from climate change

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

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

Klimaschutz

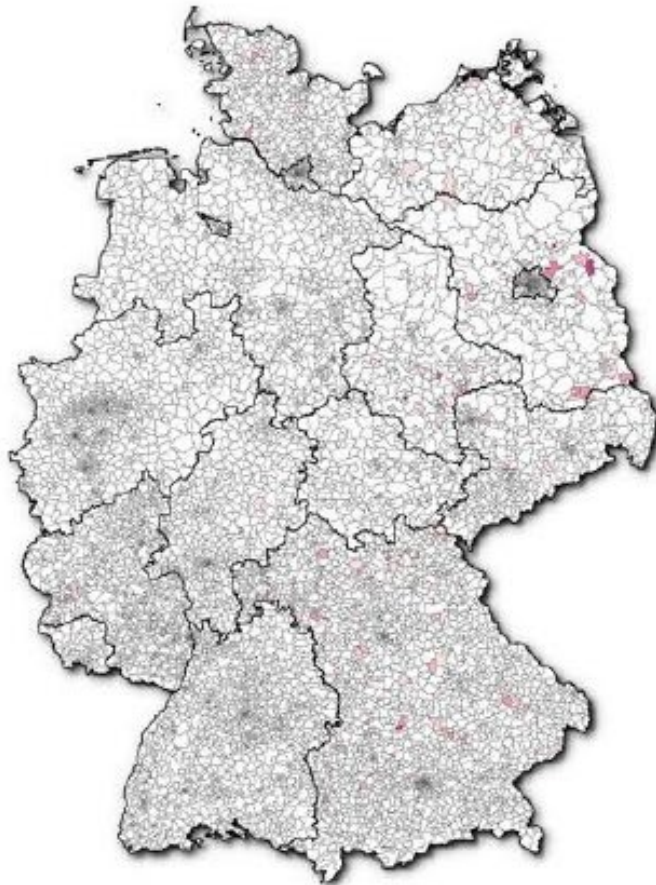
Zubau PV/Jahr und benötigter Zubau



Szenarien Freiflächen-PV

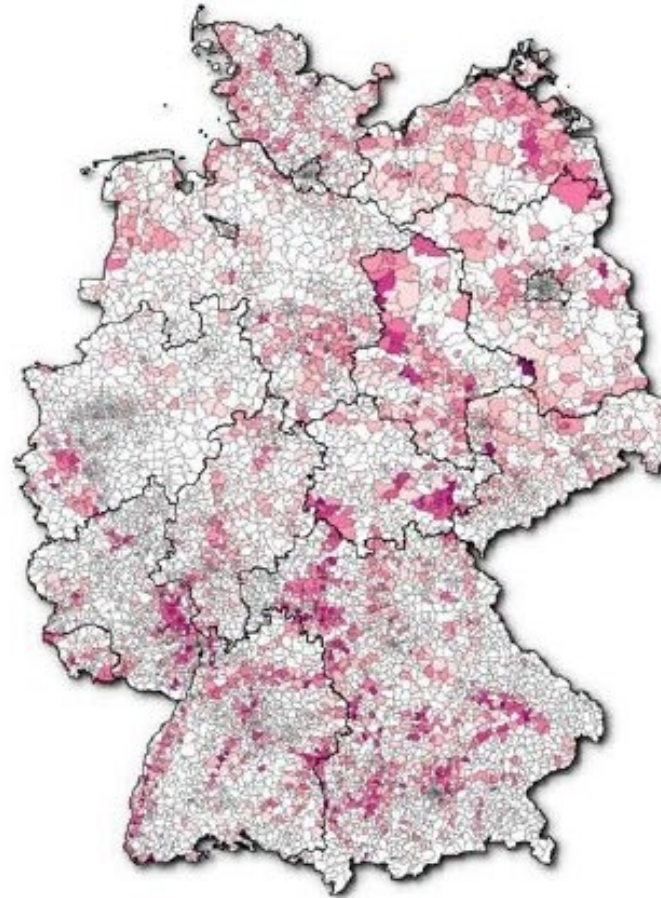
2021

Freiflächen-PV, Bestand



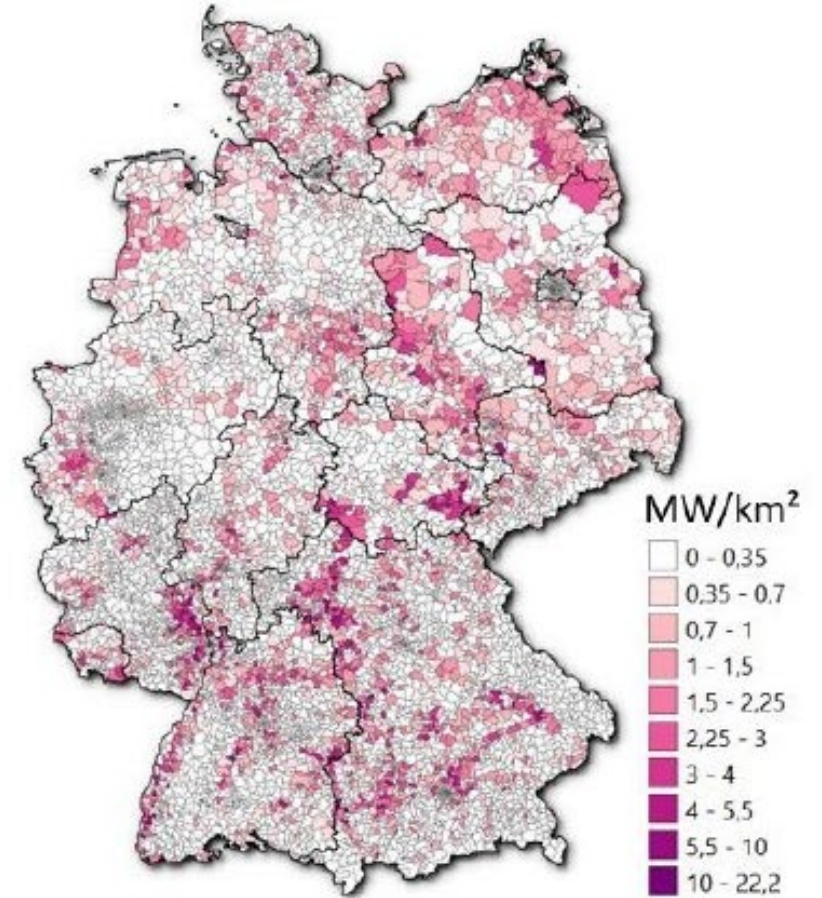
2037

Freiflächen-PV, A/B/C 2037



2045

Freiflächen-PV, A/B 2045



© Geobasis-DE/BKG 2021

Annahme: 1 ha=1 MW, bne 2021

Freiflächen-Photovoltaik: Bestand und Verteilung für das Szenario A/B/C 2037 bzw. A/B

www.iee.fraunhofer.de/de/presse-infothek/Presse-Medien/2023/verteilung-windenergie-photovoltaikanlagen-netzentwicklungsplan-strom.html

Szenarien Freiflächen-PV

2021

Freiflächen-PV, Bestand

2037

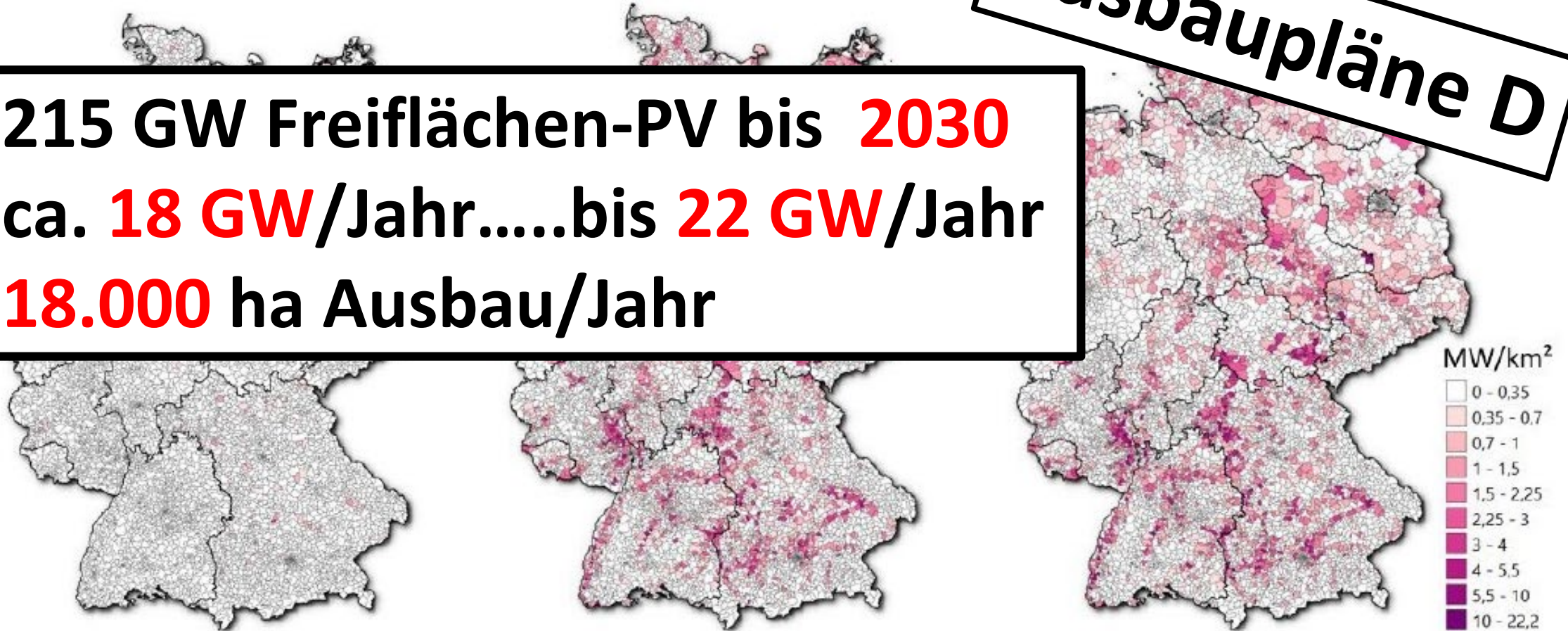
Freiflächen-PV, A/B/C 2037

2045

Freiflächen-PV, A/B 2045

Ausbaupläne D

- 215 GW Freiflächen-PV bis **2030**
- ca. **18 GW/Jahr**....bis **22 GW/Jahr**
- **18.000 ha** Ausbau/Jahr

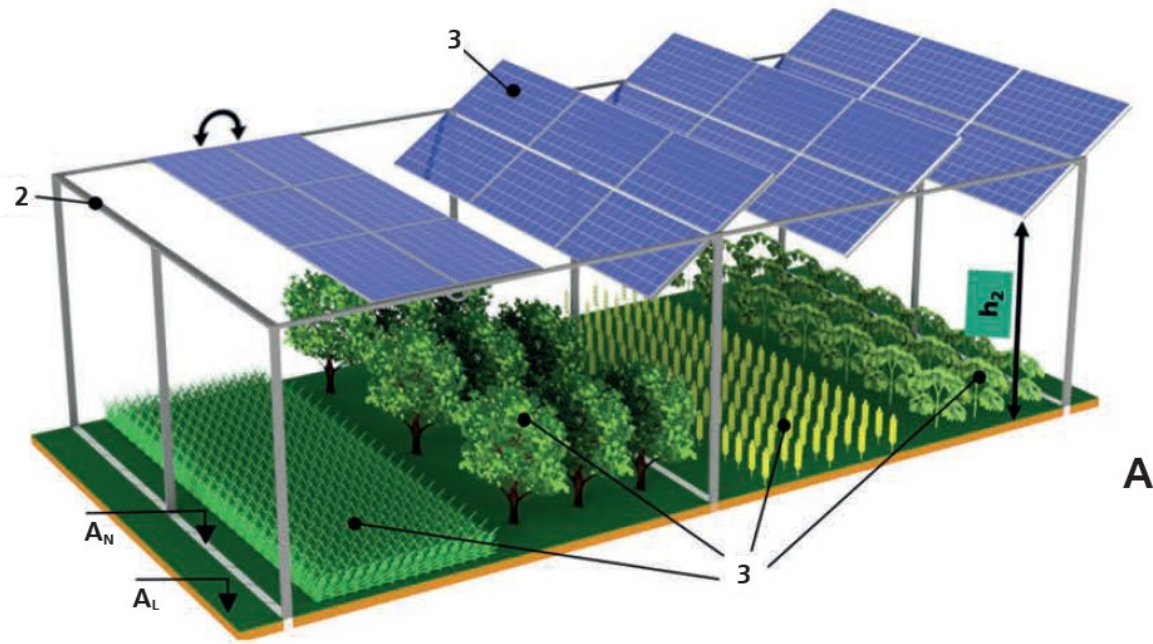


Klimaschutz & Klimaanpassung

....(1) Agri-Photovoltaik

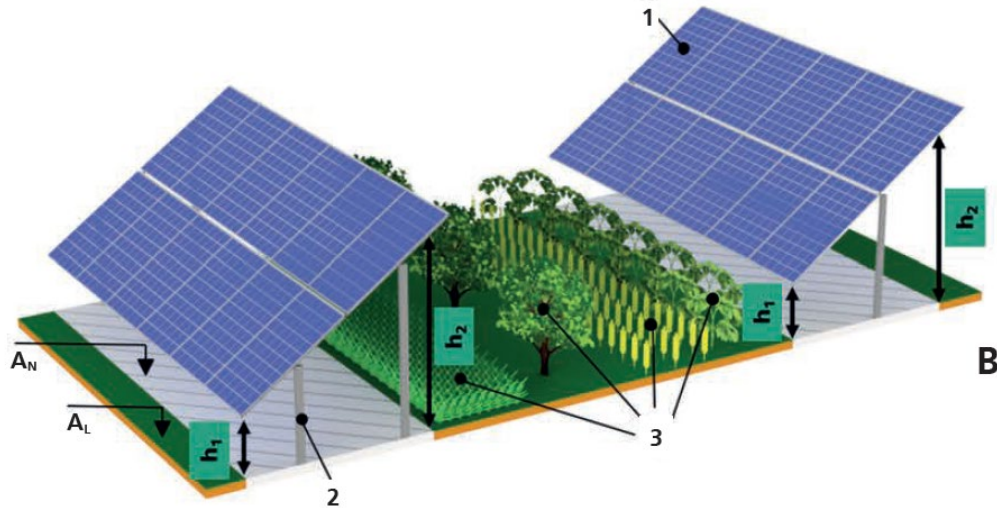
Agri-Photovoltaik

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

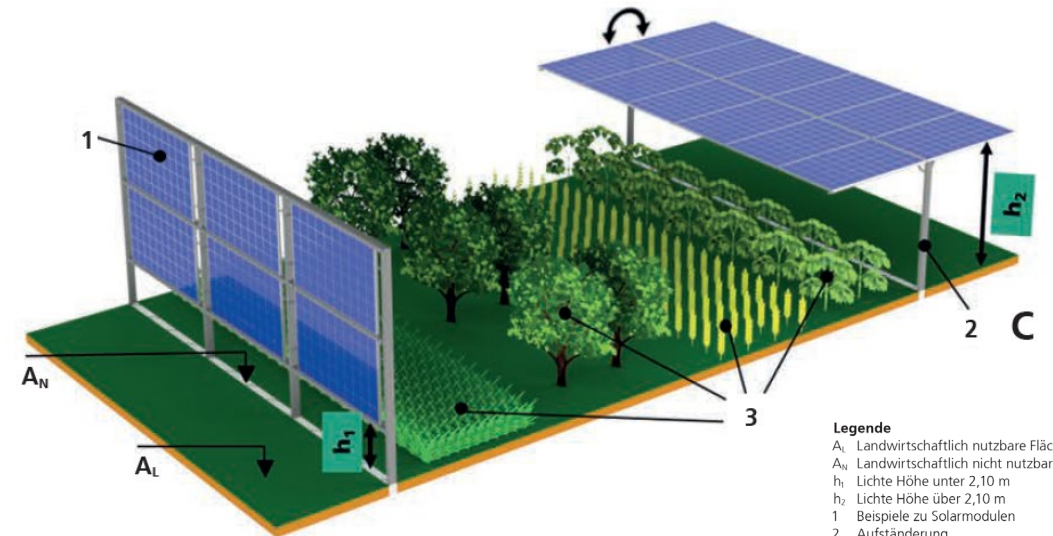


A

DinSpec 91434



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 - Anbau unter PV Modulen: Ackerbau



Deutschland



Vorteile:

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

Italien



Pilotanlagen Obstanbau

Beispiele

August 2020



Quelle: BayWa r.e.



Beeren,
Niederlande



Birnen

Trends und Innovationen

Ackerbau, Straßkirchen



Drahtseilaufhängung



HyPERFarm – Straßkirchen; Firma Krinner Carport GmbH

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



Ackerbau, Frankreich

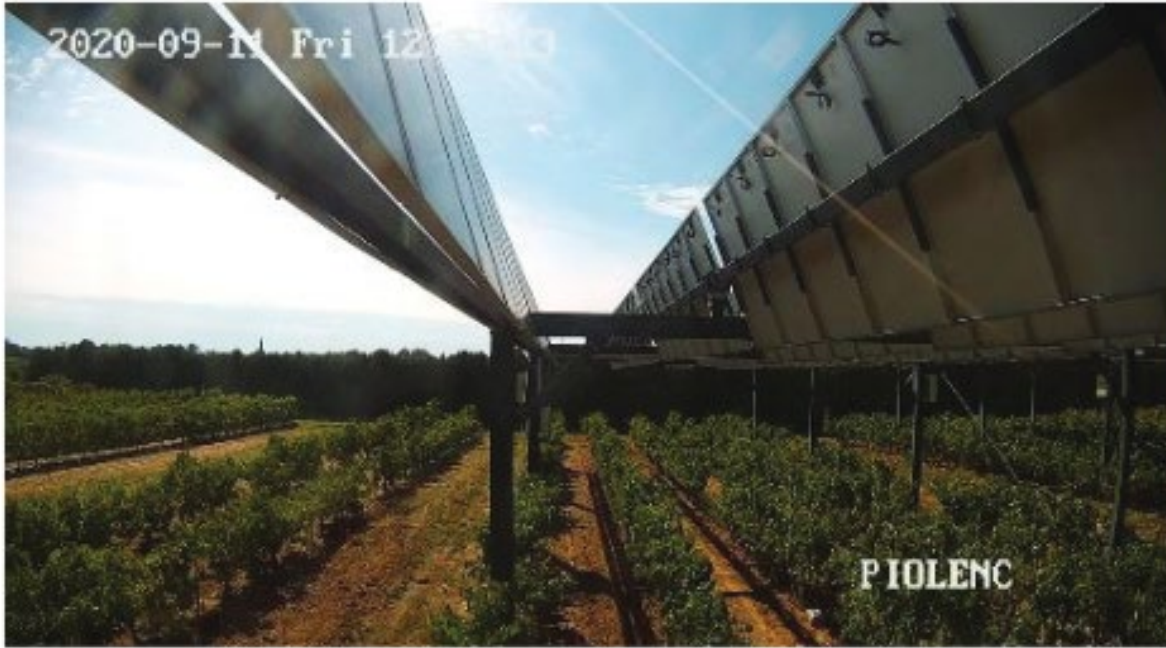
Foto: TSE

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



SOURCE: SunAgri.

https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2021/06/SPE-Agrisolar-Best-Practices-Guidelines.pdf?cf_id=41722

APV - Anbau zwischen PV Modulen

vertikal



VeCon GmbH



Fa. Next2Sun

<https://www.next2sun.de>



- Bifaziale Module, vertikal
- O-W-Ausrichtung
- **435-460 kWp/ha**
- Anbau Futterpflanzen, Getreide, Hülsenfrüchte...
- Firmen: VeCon GmbH, Agrosolar, Next2Sun, etc.



- Weniger Wind
- Mehr Bodenfeuchtigkeit



APV auf
Grünland in
Donau-Eschingen

Tierwohlgerechte Viehhaltung



SUNFARMING

- **Glas-Glas-Module:** höhere Lichtdurchlässigkeit; bifazial
- Unterfahrbarkeit mit Kleintraktoren mit Arbeitsbreiten bis 3 m
- offene „Tierwohlanlage“ für Großvieh wie z.B. **Rinder** und Mutterkühe als Schattenspende und Wetterschutz
- ggf. niedriger für **Schafe, Hühner, Kleinvieh**
- bis max 1,1 MWp pro ha

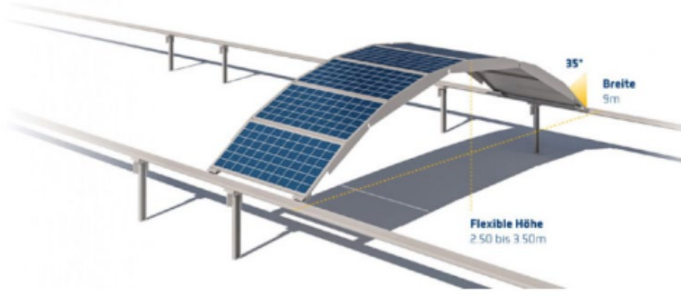
Bifaziale Module & Regenwasserverteilsystem

- Bifaziale Module
- Flächige Beregnung
- Bodenfeuchtigkeit unter den Modulen
- Keine Erosion



SUNFARMING

Beispiele Tierhaltung



Solarbogen "Modular Arc System"



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

Bis zu 1,2 MWp/ha (!)

APV - Anbau zwischen / unter PV Modulen

Nachgeführte Anlagen / Tracking

**Tracking:
30% höhere Stromerträge möglich**



Mehrfachnutzungskonzept auf landwirtschaftlichen Flächen

Nachgeführte Solarmodule

Studie: Agri-PV mit Trackern fördert Landwirtschaft und Biodiversität

Die nachgeführten Anlagen erleichtern nicht nur die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, sondern können auch die Artenvielfalt fördern.

21.04.2023



Die Simulation zeigt: Zwischen den Modulreihen ist eine landwirtschaftliche Bearbeitung möglich. (Bildquelle: EWS Sonnenfeld)

<https://www.topagrar.com/energie/news/studie-agri-pv-mit-trackern-foerdert-landwirtschaft-und-biodiversitaet-13363188.html>

Mobile APV-Anlage, Niederlande Sektorenkopplung: H2 Produktion



[Energy](#)

[Circulair](#)

[Key points](#)

[Organisation](#)

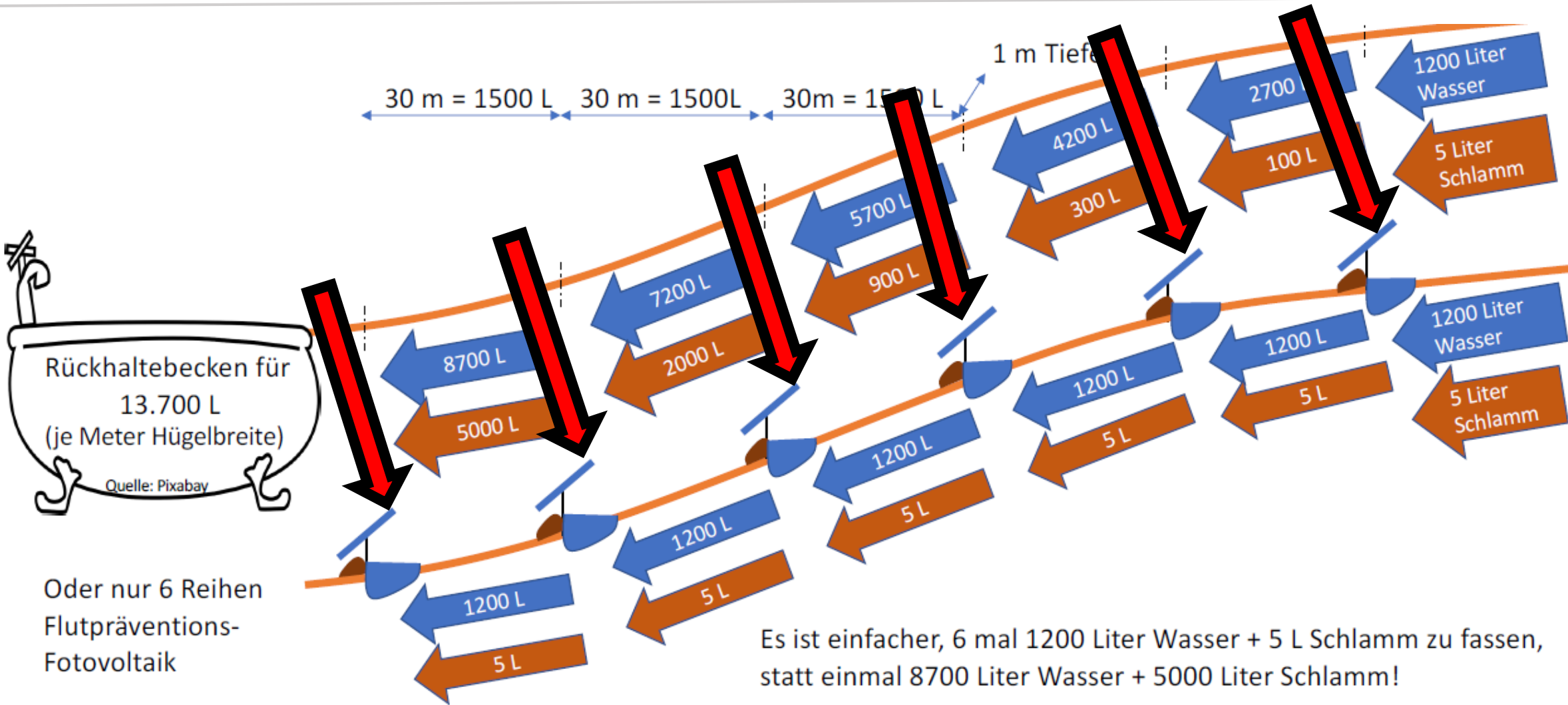
[Contact](#)



Harvesting hydrogen on agricultural land
while maintaining agricultural production



Flutpräventions- / Hangerosions- PV-Anlagen



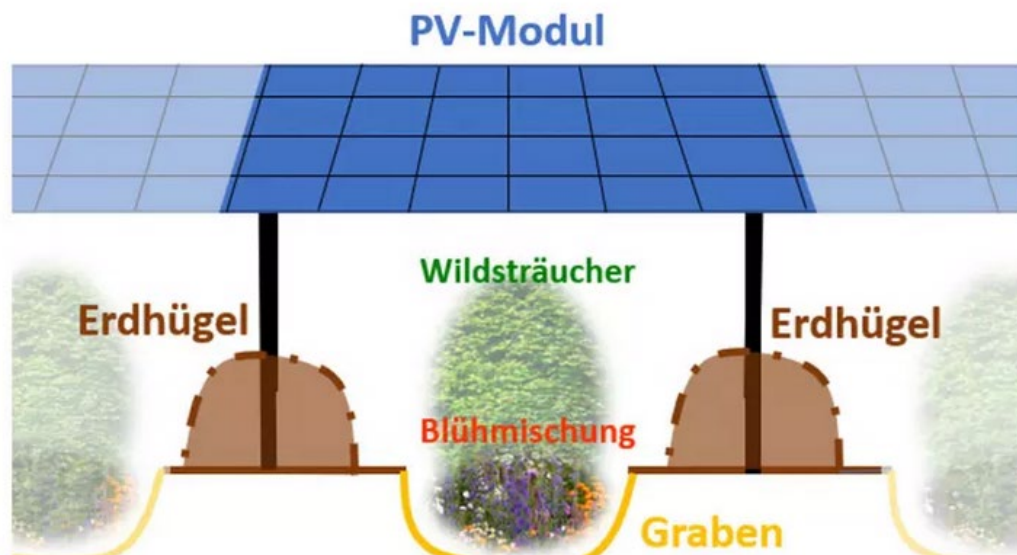
Module auf Blühstreifen

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

Beispiele

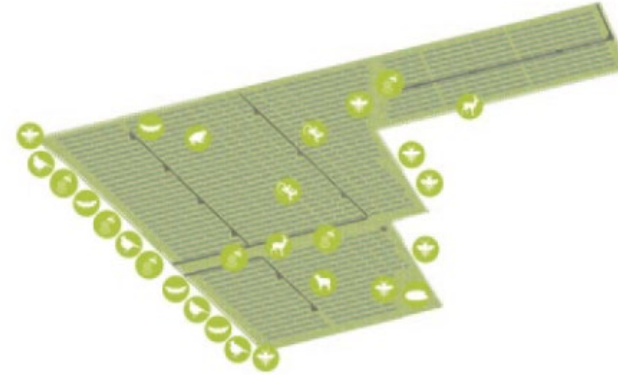
- Habitat für Bestäuber
- Bodenschutz
- geeignet für 4-10% GAP Stilllegungsfläche



Photo courtesy of Rob Davis, Fresh Energy



Tierhaltung und Biodiversität



Klein Rheide - Habitat Osterhof – Ökologisches Flächenmanagement

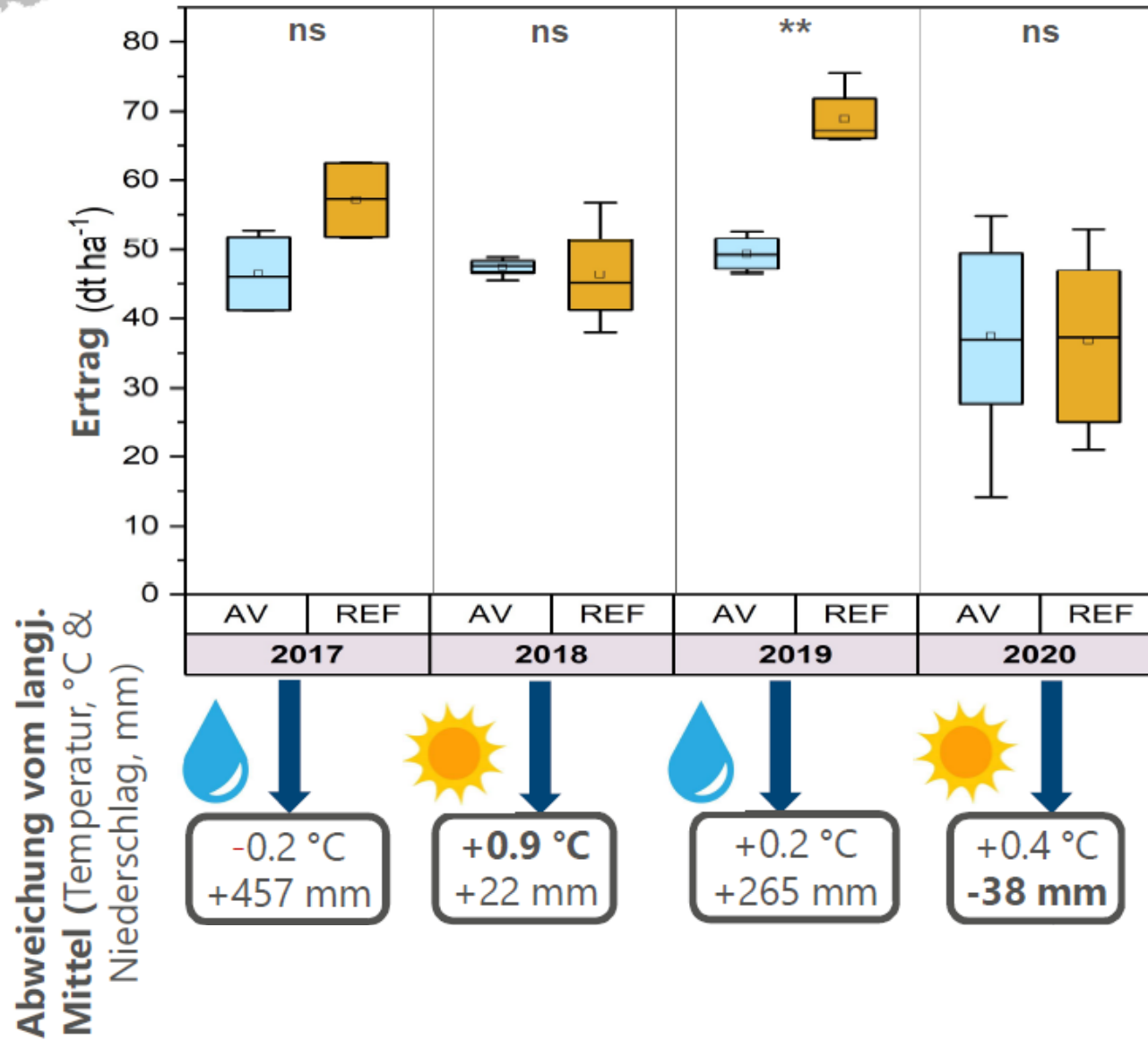
- PV + Biodiversität + extensive Landwirtschaft
- 450 Pflanzenarten
- Wildtiere, Insekten, Amphibien, Fische....Biotop
- Korridore
- Zertifiziert: EG-ÖkoVerordnung 834/2007



Positive Auswirkungen APV auf:

- Ertrag (bei Stress)
- Schutz der Kulturen
- Mikroklima
- Bodenfeuchte /-temp.
- Wassereinsparung
- Erosion (Wind, Wasser)...

Ertrag Winterweizen über 4 Jahre: APV / Referenz



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>

	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, Spätfröste, 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 (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

Genehmigung nach ‚Privilegierung in der Landwirtschaft‘

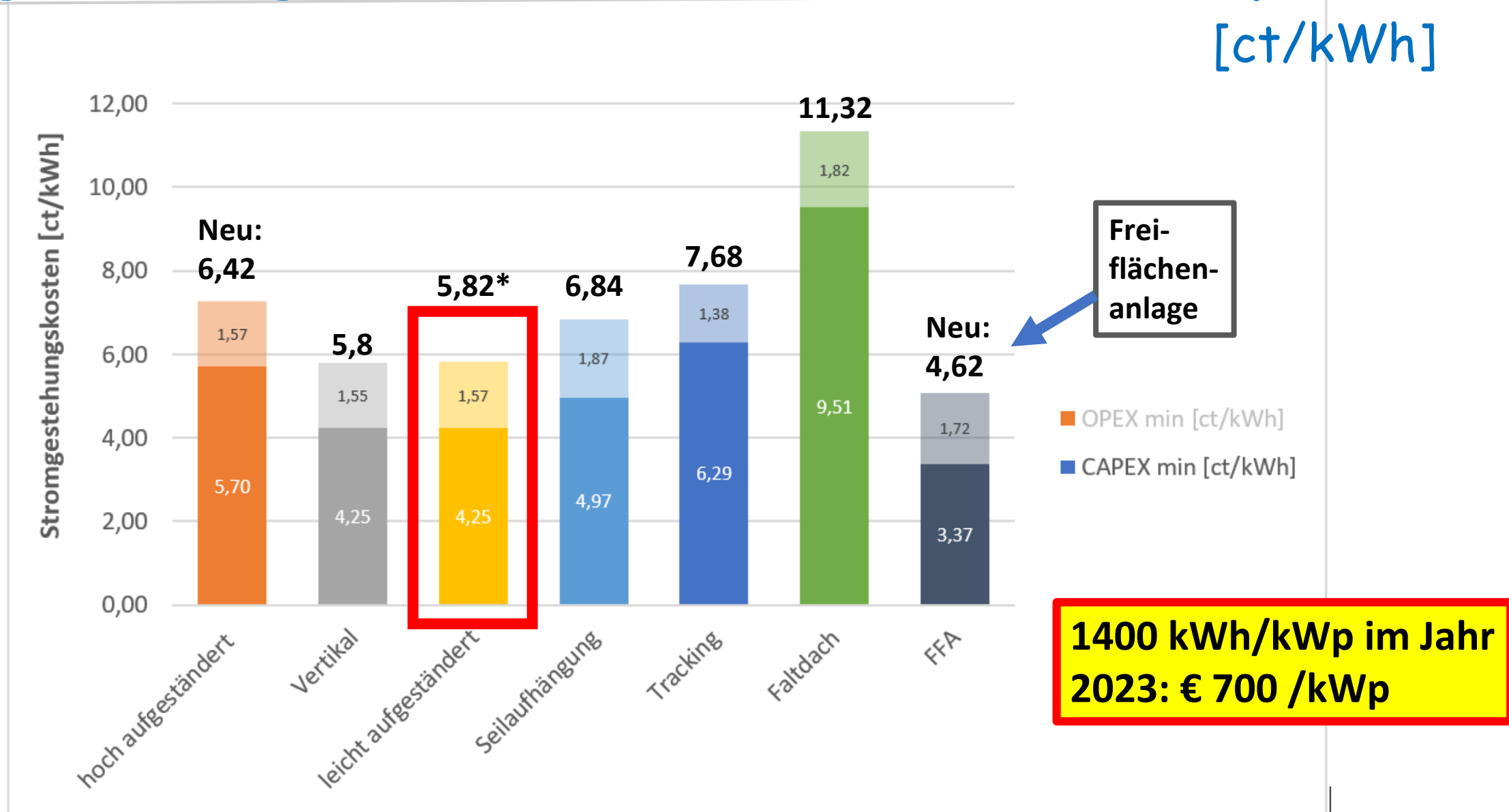
"§ 35 Abs. 1 BauGB:

- einem **land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb dient** und nur einen untergeordneten Teil der Betriebsfläche einnimmt (Nr. 1)
- einem Betrieb der gartenbaulichen Erzeugung dient (Nr. 2)
- der öffentlichen Versorgung mit Elektrizität dient (Nr. 3)
- der Nutzung solarer Strahlungsenergie in, an und auf Dach- und Außenwandflächen von zulässigerweise genutzten Gebäuden dient, wenn die Anlage dem Gebäude baulich untergeordnet ist (Nr. 8).

Dies bedeutet, dass **Kommunen ohne B-Plan genehmigen können** – wenn nicht wegen ‚öffentlicher Belange‘ eine andere Behörde einschreitet, zumeist aus Unwissen über die allseitigen Vorteile der APV (!).

Wirtschaftlichkeit

Stromgestehungskosten verschiedener APV-Systeme

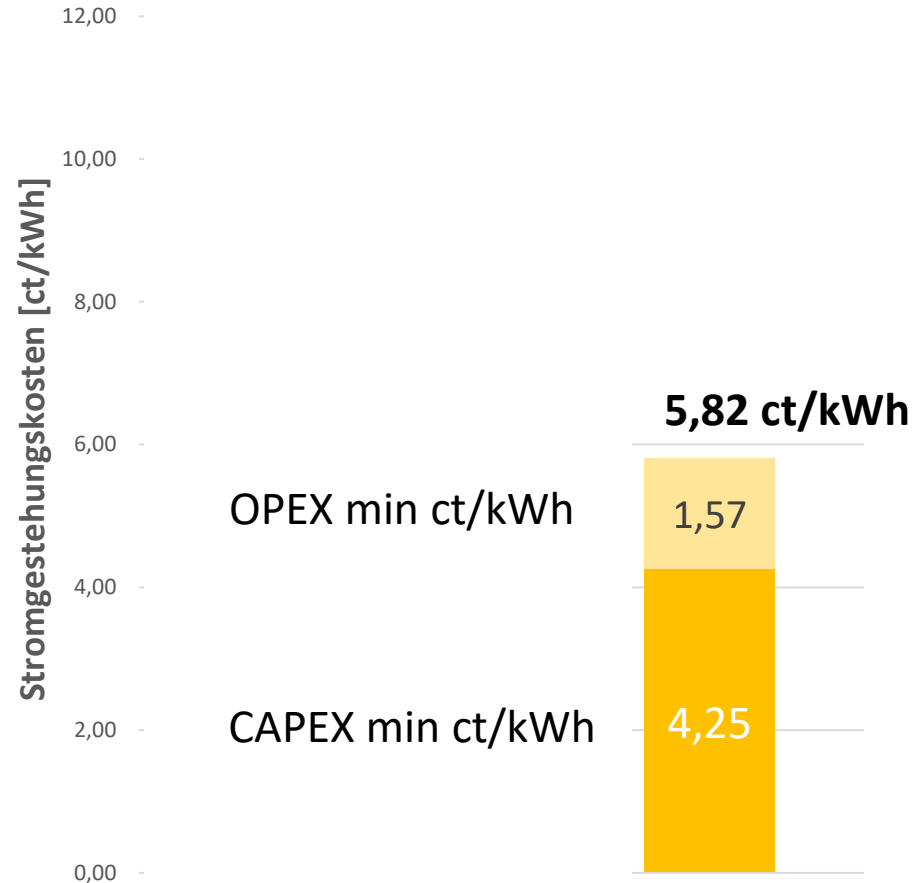


Vollmer&Wydra 2022

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

Schnaiker 2022; Wydra

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



leicht aufgeständert

Vollmer, Wydra 2022

Überschlagsmäßige Berechnung bei Minimal-Kosten:

1 ha

Leistung: 700 kWp

Investitionskosten: ca. 575.000 €/ha

Jährliche Betriebskosten: 12.000 €/a

Stromertrag: 770 MWh/a

Amortisationszeit:

..... 3 Jahre bei Eigenverbrauch

Ohne Ertrag aus Anbaukultur

* Netzanbindung ca. 2km, ohne Bewässerung, ohne Umzäunung, ohne Flächenpacht, ohne Reinigung, ohne Genehmigungskosten:
Stromgestehungskosten: 5,82 ct/kWh

Einnahmen

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

0,5 – 1,7 MWp / ha

ca. 1 GWh/ha x a

= 270-350 Haush.

Flächenbedarf APV in D

Ausbauziel PV in D 2030: 215 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)

Heimsath,
Fraunhofer ISE

Energiepflanzen in D: 2,2-2,5 Mio ha..... Biokraftstoff: 740.000 ha

Braunkohletagebau in D: 179.400 ha

(= 3x Bodensee)

Fazit...



Weiterbildung
Beratung

- Beurteilung auf Basis wissenschaftlicher Grundlagen
 - **Positiv** für Agri-PV und Biodiversität in FFA
- Priorisierung auf Dach- Konversionsflächen etc. nicht ausreichend für Ausbauziele 2030
- Grundsätzlich ist jede landwirtschaftliche Fläche geeignet
- **Forderung: Standardisierte** Anforderungen (Umwelt-Leitlinien für Planung, Bau, Betrieb, Rückbau), incl. Biodiversitätsmaßnahmen;
Privilegierung der APV: der Landwirtschaft ,dienend‘
- Vereinfachte, beschleunigte **Genehmigungsverfahren** für APV und FFA
- **Gutachten/Monitoring nur in begr. Ausnahmefällen**
- Sofortiger, massiver **Netzausbau**
- Vereinfachte **Partizipation** ...



Vielen Dank!

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>

Erste Leitlinien für Biodiv-PV



Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Gemeinsames Papier, Stand April 2021

https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/solarenergie/210505-nabu-bsw-kriterien_fuer_naturvertraegliche_solarparks.pdf

Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V.
Hackescher Markt 4
D-10178 Berlin

Fon: +49 30 400548-0
Fax: +49 30 400548-10
mail@bne-online.de
www.bne-online.de



Verband Thema



https://www.th-bingen.de/fileadmin/projekte/Solarparks_Biodiversitaet/Leitfaden_Massnahmensteckbriefe.pdf

bne-Positionspapier Biodiversitäts-PV als Solarpark-Standard

Photovoltaik-Freiflächenanlagen die Artenvielfalt fördern entstehen, wenn die Anreize wirksam gesetzt werden, insbesondere in der GAP-Direktzahlungen-Verordnung.

Berlin, Juni 2023. Der beschlossene Ausbaupfad im EEG sieht vor, dass ab 2026 im Schnitt rund 1 Gigawatt pro Monat an neuen Solarparks entstehen. Für diese Anlagen

https://www.bne-online.de/fileadmin/user_upload/23-06-19_bne_Biodiversitaet%20als-PV.pdf



<https://www.bne-online.de/de/verband/gute-planung-pv/>



Websites und Veröffentlichungen zu Biodiversität und Biodiversitätsmaßnahmen in PV-Anlagen

BNE. https://www.bne-online.de/fileadmin/user_upload/23-06-19_bne_Biodiversit%C3%A4ts-PV.pdf

BNE. <https://www.bne-online.de/de/verband/gute-planung-pv/>

NABU. https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/solarenergie/210505-nabu-bsw-kriterien_fuer_naturvertraegliche_solarparks.pdf

TH Bingen. [https://www.th-bingen.de/fileadmin/projekte/Solarparks Biodiversitaet/Leitfaden Massnahmensteckbriefe.pdf](https://www.th-bingen.de/fileadmin/projekte/Solarparks_Biodiversitaet/Leitfaden_Massnahmensteckbriefe.pdf)

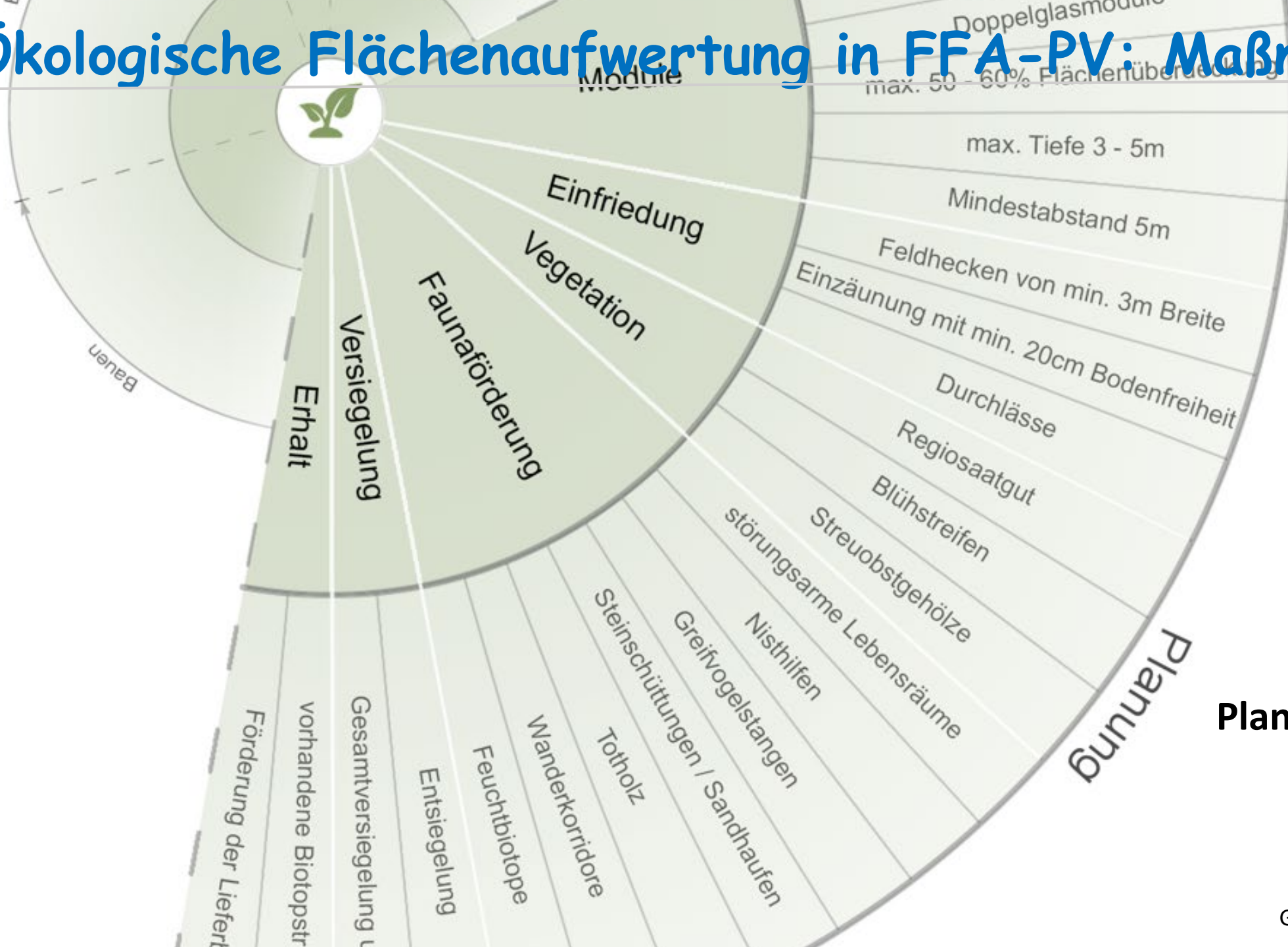
EULE. <https://eule-energiewende.de/> und <https://eule-energiewende.de/infothek/>
„Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende“

Jagdverband Schleswig-Holstein. <https://ljv-sh.de/wp-content/uploads/Solarbroschuere-Landesjagdverband-Schleswig-Holstein.pdf>

und

Leitlinien auf wissenschaftlicher Basis, siehe folgende Folien, MA Arbeit, FH Erfurt
(in Vorbereitung für Veröffentlichung)

Ökologische Flächenaufwertung in FFA-PV: Maßnahmen



Planung

Eigene Arbeiten

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

Wydra et al. 2023. Agrivoltaic – Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature. <https://www.intechopen.com/online-first/87330>

APV Vortrag, Video, 1.6.2023, Brandenburg. <https://powershift-brandenburg.de/agri-photovoltaik/> oder <https://www.youtube.com/watch?v=loEVMcfED-o>

APV Vortrag, Video, 15.9.2023, Kiel. <https://www.youtube.com/watch?v=Hwmyw1fjlt4>

Busch C, Wydra K 2023. Life cycle assessment of an agrivoltaic system with conventional potato production. Journal of Renewable and Sustainable Energy 15, 043501. <https://doi.org/10.1063/5.0156779>

Trommsdorff, M, Hopf, M, Hörnle, O, Berwind, M, Schindele, S, Wydra, K 2023. Can synergies in agriculture through an integration of solar energy reduce the cost of agrivoltaics? An economic analysis in apple farming. Applied Energy 350, 121619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121619>

Gessert, S 2023. Ökologische Flächenaufwertung im Einvernehmen mit nachhaltiger Stromproduktion durch Photovoltaik-Freiflächenanlagen. MA-Arbeit, FH Erfurt. 100 S.

Vollmer, V 2022. Agri-Photovoltaik - aktueller Forschungs- und Technikstand, sowie fallspezifische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. MA-Arbeit, FH Erfurt. 100 S. https://www.fh-erfurt.de/fileadmin/Dokumente/Personen/LGF/Wydra/MA_Thesis_Vera_Vollmer.pdf

Hoffmann, LB 2023. Eine Untersuchung von Paludikultur und einer möglichen Verbindung mit Agri-Photovoltaik sowie der damit verbundenen Verwertungs- bzw. Wertschöpfungskette. BA-Arbeit, FH Erfurt. 68 S.

Nguyen, TQ 2022. Agri-Photovoltaikanlagen als neues Kulturlandschaftselement - Ermittlung der Auswirkungen einer Modellanlage auf das Schutzgut Landschaftsbild mittels Visualisierungen sowie Vorschläge für eine optimierte Planung und Integration. BA-Arbeit, FH Erfurt. 68 S. https://www.fh-erfurt.de/fileadmin/Dokumente/Personen/LGF/Wydra/BA-Thesis_Thieu_Quang_Nguyen.pdf

Literatur und Studien

TFZ (Technologie und Förderzentrum Straubing), Okt. 2023. **Agri-Photovoltaik Leitfaden. Planung und Genehmigung.**

https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/231005_p_tfz_leitfaden_agri-pv.pdf und
https://www.tfz.bayern.de/tfz_bericht_73_agri-pv

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.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, 2021, 2022, 2023

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

Beratung zu APV in Bayern:



☰ Menü ✉ LandSchafttEnergie-Nachrichten 🔍 Suchen

Home > Beratung > Solarenergie > Agri-Photovoltaik



<https://www.landschafttnergie.bayern/beratung/sonnenenergie/agri-photovoltaik/>