

M4F Maschinenbau Wolfenbüttel

5. Stammtisch

AGRI-PV

Dienstag 15.6.2021 19 Uhr

Agriphotovoltaik - doppelte Landnutzung,
dreifacher Effekt!

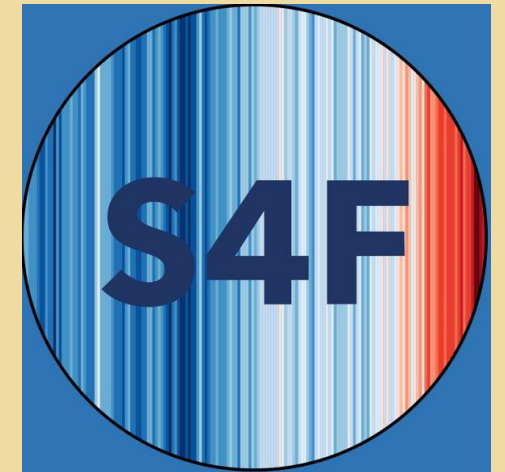
M4F



M4F Maschinenbau
Wolfenbüttel

5. Stammtisch

In Zusammenarbeit mit




Agenda:

-  Einführung
-  Vorstellung der Webkonferenz von Frau Prof. Wydra
-  Diskussion



Agenda:

Einführung

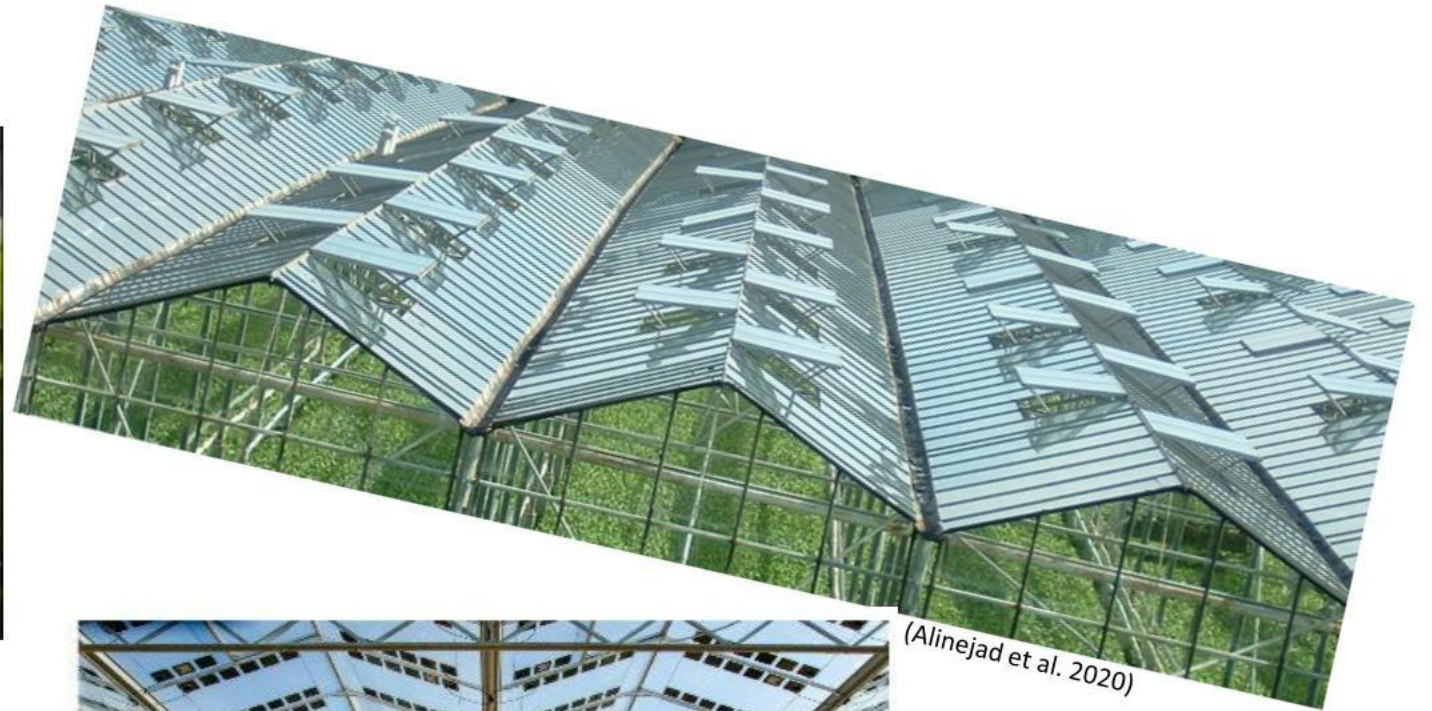
-  Agri PV = Nutzung von Landwirtschaftlicher Fläche für die Pflanzenproduktion UND Energieerzeugung
-  Die Energieausbeute von Mais ist bezogen auf das eingestrahlte Sonnenlicht **wesentlich kleiner**, als die Energieausbeute **handelsüblicher Photovoltaikmodule**. Während aus der Verstromung des Jahresertrags eines Quadratmeters Energiemais nach Zahlen des FNR bei Mais nur **1,5 – 2,25 kWh** gewonnen werden können, liegt der Ertrag eines durchschnittlichen Quadratmeters Freiflächenphotovoltaik mit über **70 kWh** um mindestens das **31-Fache** höher.

Agenda:

- 📄 Vorstellung der Webkonferenz von Frau Prof. Wydra
- 📄 <https://www.vee-sachsen.de/artikel/videomitschnitt-agriphotovoltaik-doppelte-landnutzung-dreifacher-effekt-prof-dr-kerstin-wydra>
- 📄 Mitschnitt der Veranstaltung bei YOUTUBE
<https://youtu.be/5LErHh6hYXM>
- 📄 Dank an Frau Prof. Wydra für die Erlaubnis der Verwendung der Unterlagen



"Agriphotovoltaik - doppelte Landnutzung, dreifacher Effekt!"



Fa. Brite Solar, Griechenland

Prof. Dr. sc. agr. habil. Kerstin Wydra
Pflanzenproduktion im Klimawandel
Fachhochschule Erfurt

Innovationsregion Mittelthüringen – Klimaschutzregion Ilmtal - Innovation, Partizipation, Zukunftsfähiges Wirtschaften



Fachhochschule Erfurt
SolarInput e.V.
Prof. Dr. sc. agr. habil. Kerstin Wydra

& Team

Solar is now 'cheapest electricity in history', confirms IEA



Neuer Rekordpreis für Photovoltaikstrom: Portugal sagt 1,114 Cent pro kWh an

1,114 Cent/kWh

PV & Energiespeicher,
15-Jahresvertrag für Land und Netzanbindung



bbc.com/future/story/20180822-why-china-is-transforming-the-world-solar-energy

Vergleich Deutschland
Aufdachanlagen 1000 € /kWp
ca 4-10 ct/kWh Gesteuerungskosten,
nur PV
(BSW Solar 2019)

*....muss die **Photovoltaik die Lücke zur notwendigen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien schließen**. Das bedeutet im Ergebnis einen enormen Ausbau dieser Art von Energieerzeugung“ (TMUEN, 2019: 16)*

D: bis 2050: 500 – 700 GW PV Zubau notwendig

(Studie: CO2-neutral bis 2035. Wuppertal Institut, Okt. 2020)

Thüringen: bis 2030 16-18 GW Zubau PV (...?)

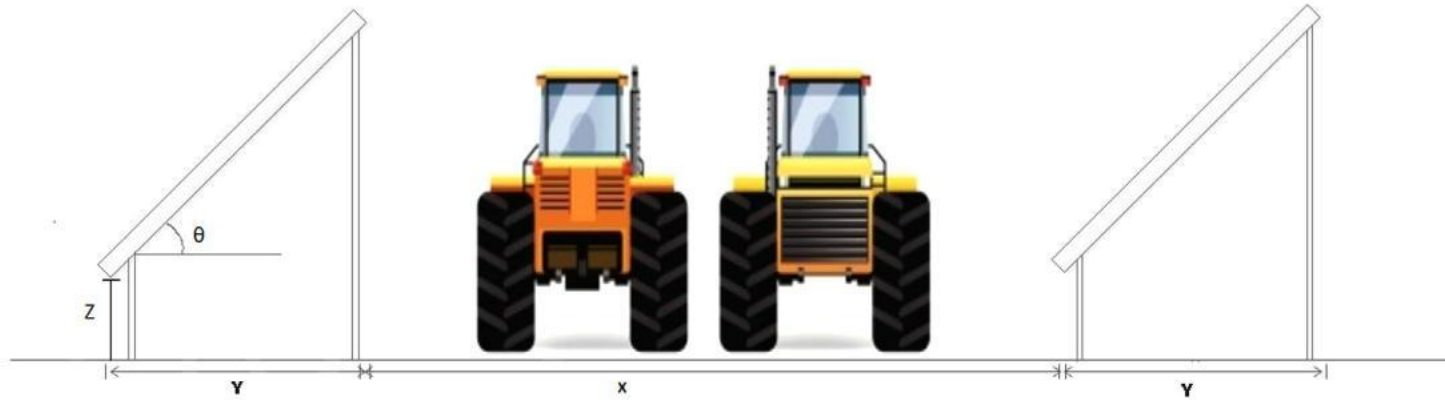
THINK BIG TO REACH CLIMATE GOALS?





- **Fläche simultan** landwirtschaftlich und energetisch **genutzt**
- unterschiedliche **PV-Technologien, auf die ,darunter (daneben-)liegende' landwirtschaftliche Nutzung abgestimmt**
- ...(semi-)transparente PV-Module, nachgeführte PV-Freiflächenanlagen, etc.
- kombiniert mit Ackerbau, Viehzucht bis hin zur Lebensmittelverarbeitung
- auch: PV auf **Gewächshäusern**

(Technische) Anforderungen an die APV Anlage



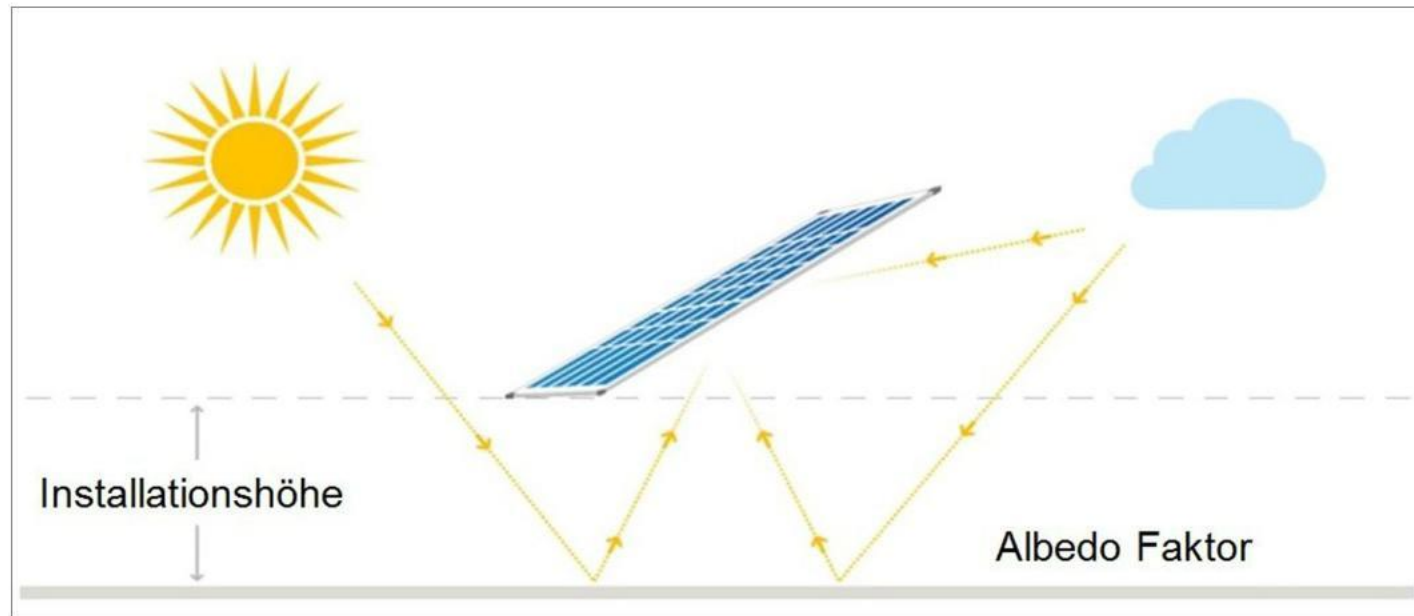
Variante 1



Variante 2

- Anpassung Reihenabstand (auch senkrechte Aufständering möglich) bzw. Höhe für
 - Passieren mit landwirtschaftlichen Maschinen
 - Gewährleistung konstanten Lichteinfalls
- Verwendung von Modulen mit möglichst hohem Wirkungsgrad
- Überwachung der Anlage zur Reduktion von Störfällen (Verschmutzung durch Staub, Beschädigung, etc.)

Agri-Photovoltaik – bifaziale PV 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 führt zu homogenerer Lichtverteilung unter den Modulen
- Glass-Glass Module mit (geringer) Lichtdurchlässigkeit

Agri-Photovoltaik - Anbau unter PV Modulen



■ Vorteile:

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



Pilotanlage Heggelbach

- Standort: Heggelbach (Baden-Württemberg)
- 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
=600 kW/ha;
- Stromertrag: 0,66MWh/ha
- Ertrag pro Fläche:
40% unter Ref.-Anlage
- 37,5% weniger photosyn-
thetisch aktive Strahlung

Untersuchte Nutzpflanzen:

- Winterweizen
- Sellerie
- Kartoffeln
- Klee gras



Quelle: Hofgemeinschaft Heggelbach

Forschungsanlage Weihenstephan-Triesdorf

- Standort: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Bayern)
- Konstruktion: 3,6 m Anhebung
- Gesamtfläche: 483 m², APV-Anlage auf ca. 144 m²
- 90 PV-Module, 1-Achsen-Nachführungssysteme in Nord-Süd-Reihen mit bifazialen Modulen
- Installierte Leistung: 22 kWp = 857 kW/ha
- Stromertrag: 1,15 MWh/ha
- Ertrag 6% über Ref.-Anlage
- 60% weniger photosynthetisch aktive Strahlung



Untersuchte Nutzpflanzen:

- Chinakohl
- Lollo Rosso, Kartoffeln



Pilotanlagen Obstanbau

August 2020



Quelle: BayWa r.e.



Beeren,
Niederlande



Birnen



Solarpark Donaueschingen-Aasen, Baden-Württemberg

Inbetriebnahme 2020

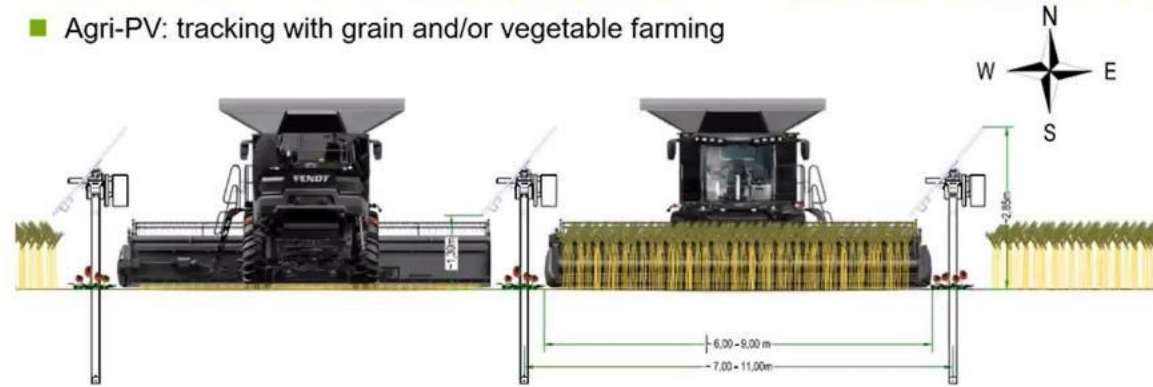
- Bifaziale Module, vertikal,
- Ost-West-Ausrichtung in Nord-Süd-Reihen
- Leistung: 395 kW/ha; Stromertrag: 0,435 MWh/ha
- Ertrag pro Fläche: 60% unter Ref.-Anlage
- 21% weniger photosynthetisch aktive Strahlung

<https://www.next2sun.de>

BayWa r.e. Agri-PV Products: Application Type 2 *Parallel-use of cropland*

Installed close to the ground, less synergies, agriculture between PV modules, e.g. grain or livestock farming

- Agri-PV: tracking with grain and/or vegetable farming

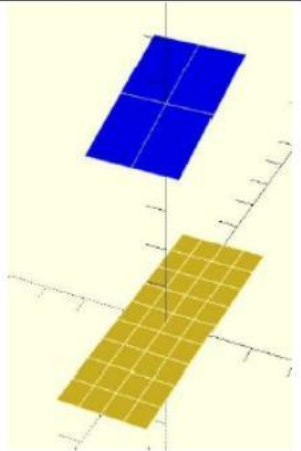
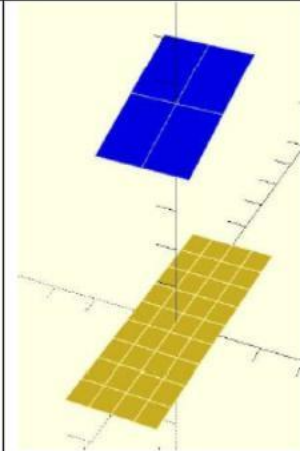
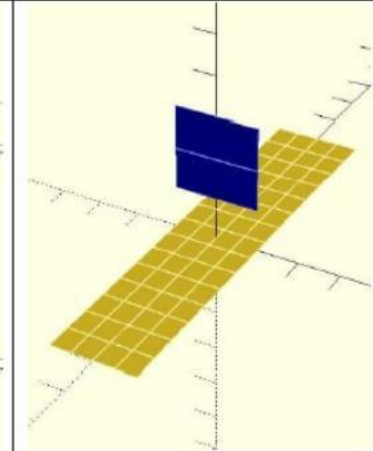


- Agri-PV: fix tilt with grassland, pastureland, animal husbandry



Quelle: BayWa r.e.

Anlagentypen Pilotanlagen Deutschland

Parameter	Anlagentyp 1 „Heggelbach“	Anlagentyp 2 „Weihenstephan“	Anlagentyp 3 „Dirmingen“
Abstand zwischen den Modulreihen	10 m	7 m	10 m
Modulbreite	1 m	1 m	1,024 m
Modullänge	1,675 m	1,59 m	2,024 m
Aufstellhöhe	5 m	3,6 m	1 m
Simulationsdomänenlänge (Nord-Süd)	10 m	7 m	10 m
Simulationsdomänenbreite (Ost-West)	2,06 m	2,06 m	2,06 m
Aufstellwinkel	20°	nachgeführt	90°
Simulationsumgebung			

Alternativen **Aufhängungssystemen auf Drahtseilbasis** wird das Potenzial nachgesagt, die Mehrkosten für die APV-Konstruktion auf etwa 10% der BOS-Kosten zu drücken (Leitner 2020).

Durchfahrtsbreite 15m

Badelt et al. 2020 Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft

Photovoltaik-Freiflächenanlage in Frankreich entsteht auf rauen Holzstrukturen

Die französische Genossenschaft Céléwatt und das Ingenieurbüro Mécojit bauen im Südwesten Frankreichs einen neuen Solarpark mit einer Leistung von 250 Kilowatt. Die Solarmodule werden auf einer Rohholzstruktur installiert, die aus den umliegenden Wäldern stammt, um die lokale Beschäftigung und eine regionale natürliche Ressource zu fördern.

17. NOVEMBER 2020 GWÉNAËLLE DEBOUTTE



Eichenholz aus der Region wird als Montagegestell für die Solarmodule genutzt.

Foto: CéléWatt



CONTRIBUTOR NATURE SUSTAINABILITY

BEHIND THE PAPER

Agrivoltaics : a win-win system to combine food and energy production?

Renewable energies are a key leverage to mitigate climate change trend

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**



- 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

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

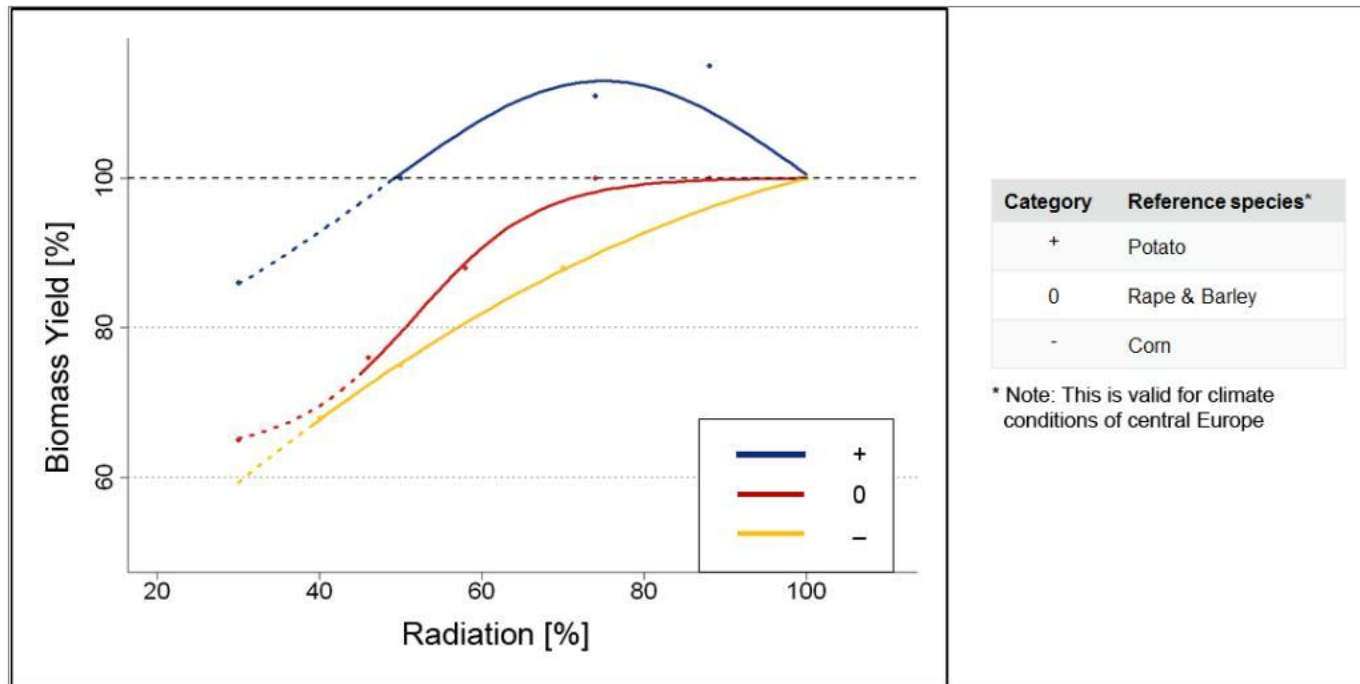
Image: Sun'Agri/Sun'R

Crops grown in agrivoltaic farms in Japan

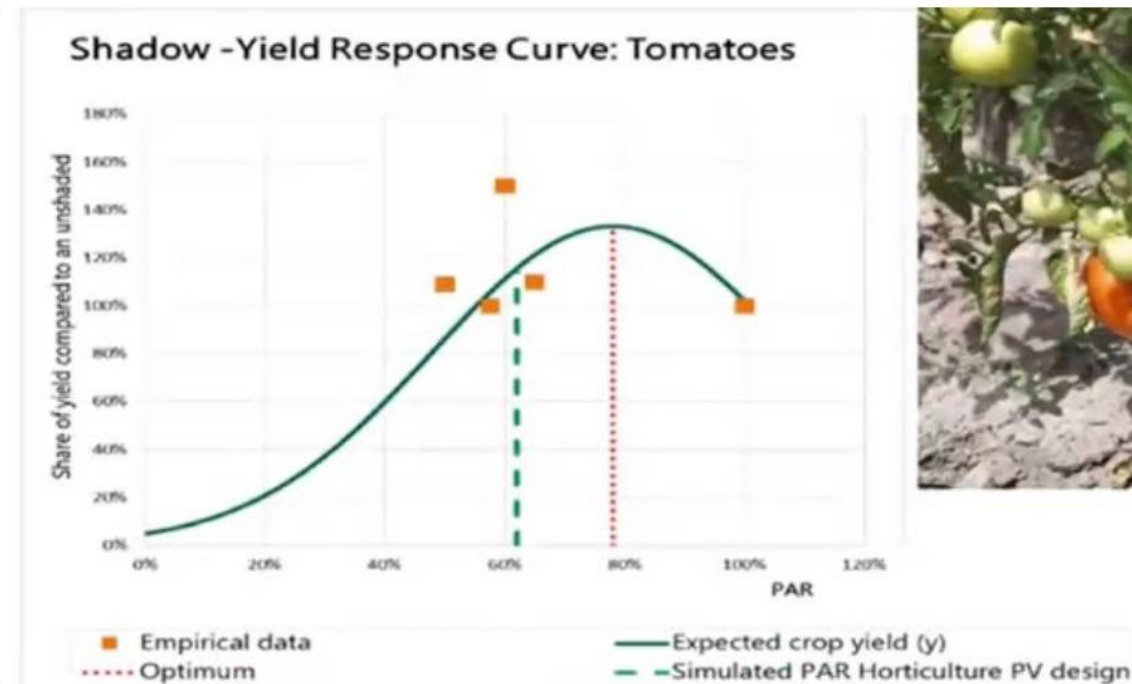
> 120 crops

Number of cases	Common name (Scientific name) [number of cases]
>10	mioga ginger (<i>Zingiber mioga</i> Rosc.) [65], Japanese cleyera (<i>Cleyera japonica</i>) [41], paddy rice (<i>Oryza sativa</i>) [35], shiitake mushroom (<i>Lentinula edodes</i>) [31], blueberry (<i>Cyanococcus spp.</i>) [20], fuki / butterbur (<i>Petasites japonicus</i> (Siebold et Zucc.) Maxim.) [18], tea (<i>Camellia sinensis</i> (L.) O. Kuntze) [15], green onions (<i>Allium fistulosum</i> L.) [14], pasture grass [13], pumpkin (<i>Cucurbita maxima</i>) [13], sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i>) [11], persimmon (<i>Diospyros kaki</i>) [11]
9	orange (<i>Citrus unshiu</i>)
8	soybean (<i>Glycine max</i>), potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.), taro (<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott)
7	asparagus (<i>Asparagus officinalis</i> L.), wood ear mushroom (<i>Auricularia auricula-judae</i>), lettuce (<i>Lactuca sativa</i>), peanut (<i>Arachis hypogaeaii</i>)
6	cabbage (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata.</i>), senryu (<i>Sarcandra glabra</i>)
5	bracken fern (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.), Japanese horseradish (<i>Eutrema japonicum</i> (Miq.) Koidz.), carrot (<i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i>), ashitaba (<i>Angelica keiskei</i> (Miq.) Koidz.), onion (<i>Allium cepa</i>), radish (<i>Raphanus sativus</i> var. <i>hortensis</i>), dwarf mondo grass (<i>Ophiopogon japonicus</i> 'Tamaryu'), tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>), Chinese cabbage (<i>Brassica rapa</i> var. <i>pekinensis</i>), Japanese star anise (<i>Illicium religiosum</i> Siebold & Zucc.), garlic (<i>Allium sativum</i>)
4	Grape (<i>Vitis spp.</i>), Japanese chestnut (<i>Setaria italica</i>), young soybean (<i>Glycine max</i>), barroom plant (<i>Aspidistra elatior</i>)
3	buckwheat (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench), wheat (<i>Triticum aestivum</i>), komatsuna (<i>Brassica rapa</i> var. <i>perviridis</i>), citron (<i>Citrus junos</i>), spinach (<i>Spinacia oleracea</i>), Chinese chives (<i>Allium tuberosum</i> . Rottler ex Spreng.), chameleon plant (<i>Houttuynia cordata</i>), lemon (<i>Citrus limon</i>), kiwifruit (<i>Actinidia chinensis</i>)
2	fig (<i>Ficus carica</i>), mini tomato (<i>Lycopersicum esculentum</i>), potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.), ginger (<i>Zingiber officinale</i>), udo (<i>Aralia cordata</i>), broccoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>), Japanese pepper tree (<i>Zanthoxylum piperitum</i>), shiso / Japanese basil (<i>Perilla frutescens</i> var. <i>crispa</i>), cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L.), dekopon (<i>Citrus unshiu</i> x <i>reticulata</i> Siranui), garden peas (<i>Pisum sativum</i> L.), sesame (<i>Sesamum indicum</i>), red clover (<i>Trifolium pratense</i> L.)
1	hascup (<i>Lonicera caerulea</i> var. <i>emphylocalyxii</i>), maitake (hen-of-the-woods) (<i>Grifola frondosa</i>), Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.), garland chrysanthemum (<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.), water convolvulus (<i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.), leaf lettuce (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i>), Blackberry (<i>Rubus fruticosus</i>), sudachi (<i>Citrus sudachi</i>), ostrich fern (<i>Matteuccia struthiopteris</i>), Hydrangea (<i>Hydrangea macrophylla</i>), pak choi (<i>Brassica rapa</i> var. <i>chinensis</i>), Christmas rose (<i>Helleborus spp.</i>), turf grass (<i>Zoysia spp.</i>), bulb , black squirrel (<i>Ilex rotunda</i>), yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>), rakkyo (<i>Allium chinense</i> G.Don), dichondra (<i>Dichondra spp.</i>), holly nanten (<i>Mahonia japonica</i> (Thunb.) DC.), rape (<i>Brassica campestris</i> L.), trefoil (<i>Cryptotaenia japonica</i>), fukinoto (<i>Petasites japonicus</i> (Siebold et Zucc.) Maxim.), cauliflower (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>), mugwort (<i>Artemisia spp.</i>), apple (<i>Malus pumila</i> var. <i>domestica</i>), high moss (<i>Hypnum plumaeforme</i> . Wilson.), currant (<i>Ribes spp.</i>), flowers , maize (<i>Zea mays</i>), kiboshi (<i>Hosta spp.</i>), strawberry (<i>Fragaria xananassa</i> Duchesne ex Rozier), shimeji (<i>Hypsizygus marmoratus</i>), moss , herbs , eggplant (<i>Solanum melongena</i>), watermelon (<i>Citrullus lanatus</i>), June berry (<i>Amelanchier canadensis</i>), prickly pear (<i>Anredera cordifolia</i>), Japanese apricot (<i>Prunus mume</i>), jabara (<i>Citrus jabara</i> hort. ex Y. Tanaka), moss phlox (<i>Phlox subulate</i>), coralberry (<i>Ardisia crenata</i>), plantain (<i>Plantago asiatica</i>), shibuki (<i>Myrica rubra</i>), turnip (<i>Brassica rapa</i> L.), okra (<i>Abelmoschus esculentus</i>), senna tea (<i>Senna obtusifolia</i>), kiyomi tangor (<i>Citrus unshiu</i> x <i>sinensis</i>), cherry (<i>Prunus spp.</i>), giant elephant ear (<i>Colocasia gigantea</i>), Chinese milk vetch (<i>Astragalus sinicus</i> L.), fodder , hanashiba (<i>Illicium religiosum</i>), mulberry (<i>Morus spp.</i>), hyuganatsu (<i>Citrus tamurana</i>), kumquat / cumquat (<i>Citrus japonica</i> / <i>Fortunella japonica</i>), Solomon's seal (<i>Polygonatum spp.</i>), dracaena (<i>Dracaena spp.</i>), coffee (<i>Coffea spp.</i>), bitter melon (<i>Momordica charantia</i>), turmeric (<i>Curcuma longa</i>)

Ernteertrag in Abhängigkeit von der Einstrahlung (PAR = photosynthetic active radiation)



Biomasseproduktion von Kartoffeln, Raps, Gerste und Mais in Abhängigkeit von der Bestrahlungsintensität (Oberfell 2016, o.S.)



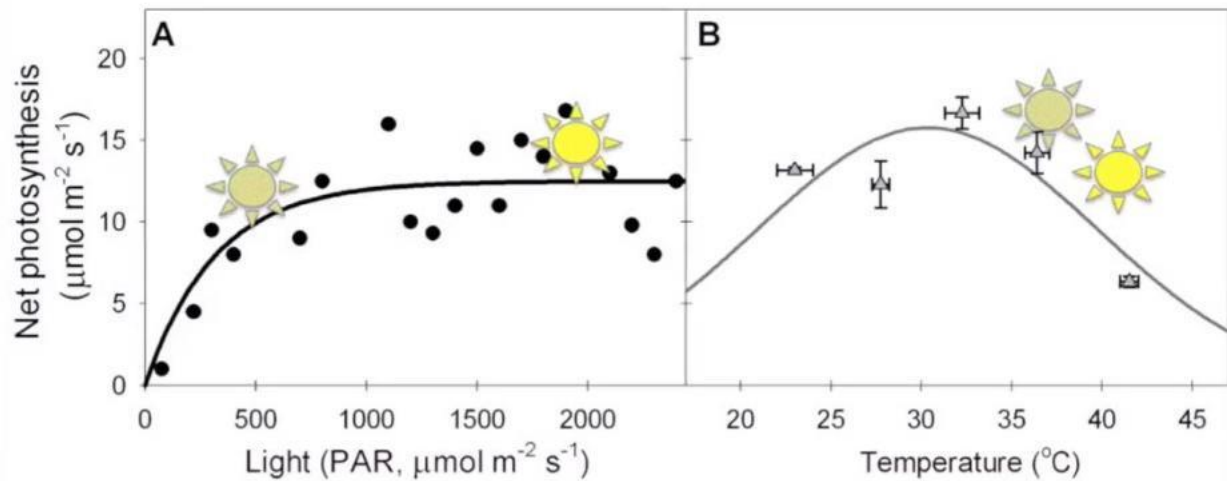
Ertragssteigerung von 16% erwartet

Fraunhofer ISE, APV Conf. 2020

Kartoffeln und Tomaten verfügen über gute Schattentoleranz
(Erhöhung der Biomasseproduktion bei Verringerung des Lichteinfalls)

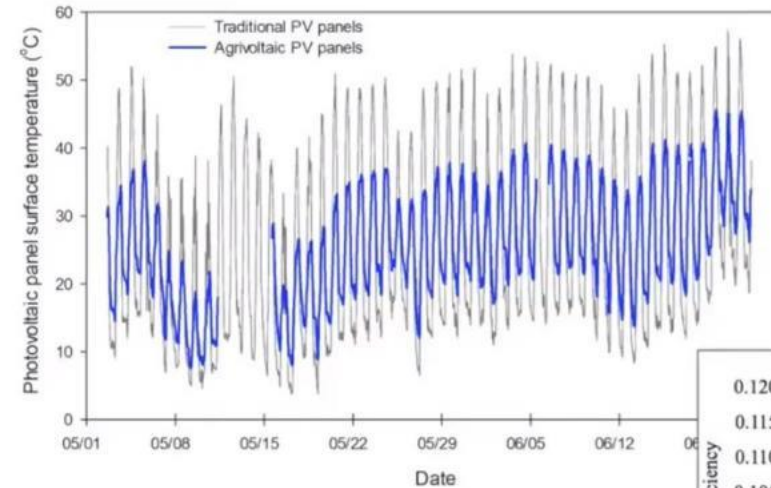
Bestrahlung, Temperatur, Photosynthese & PV Effizienz

Photosynthese in Abhängigkeit von Einstrahlung und Temperatur



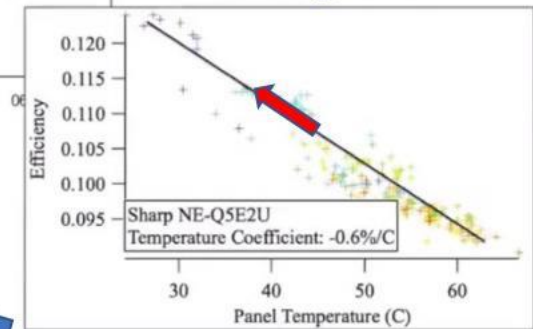
A small reduction in photosynthetic capacity due to reduced light might be offset by better temperatures!

Temperatur der Module in FFPV und APV

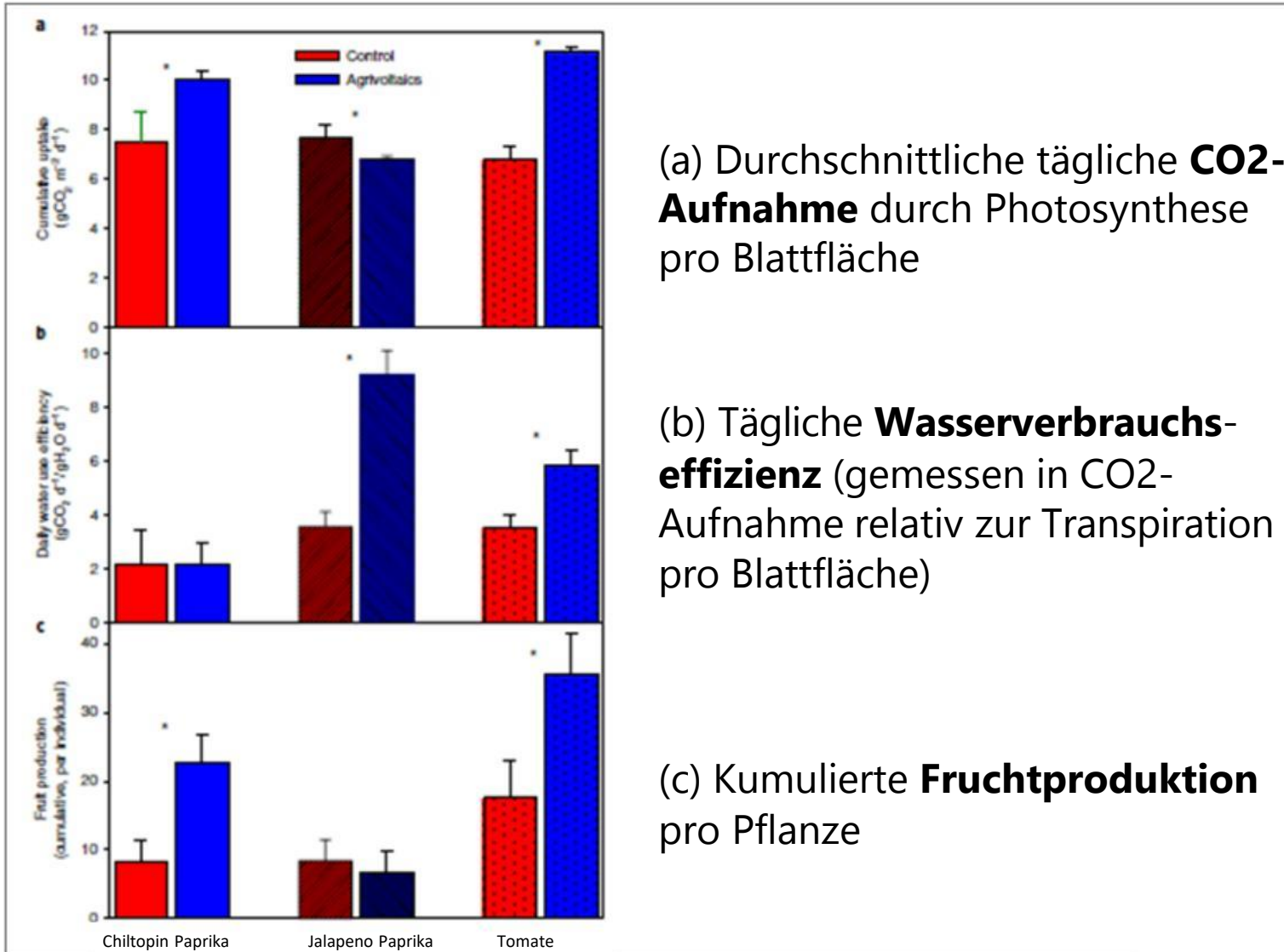


PV Effizienz in Abhängigkeit von der Temperatur

Summer time average cooling $\sim 9^{\circ}\text{C}$



Pflanzenwachstum unter APV



(a) Durchschnittliche tägliche **CO₂-Aufnahme** durch Photosynthese pro Blattfläche

(b) Tägliche **Wasserverbrauchseffizienz** (gemessen in CO₂-Aufnahme relativ zur Transpiration pro Blattfläche)

(c) Kumulierte **Fruchtproduktion** pro Pflanze

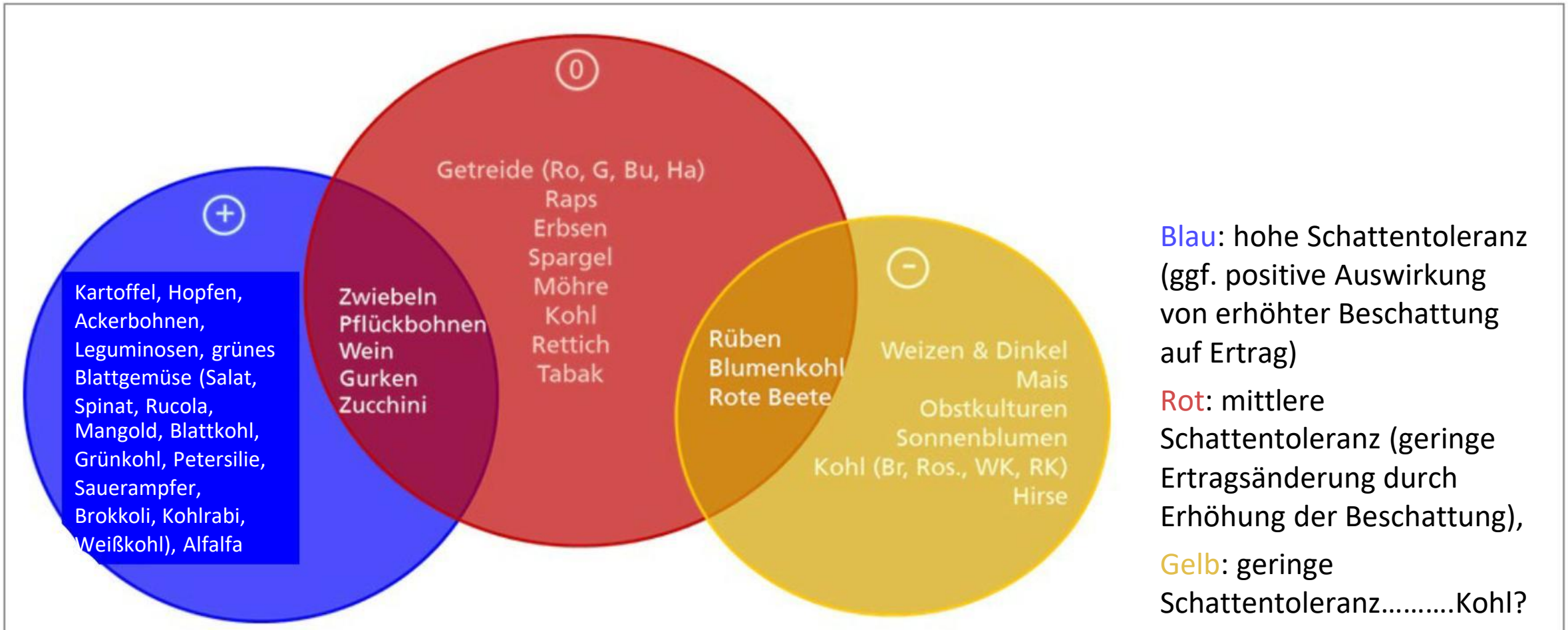


- Positiver Einfluss auf Wasserverbrauch, CO₂ Aufnahme und Ernteertrag möglich, besonders bei

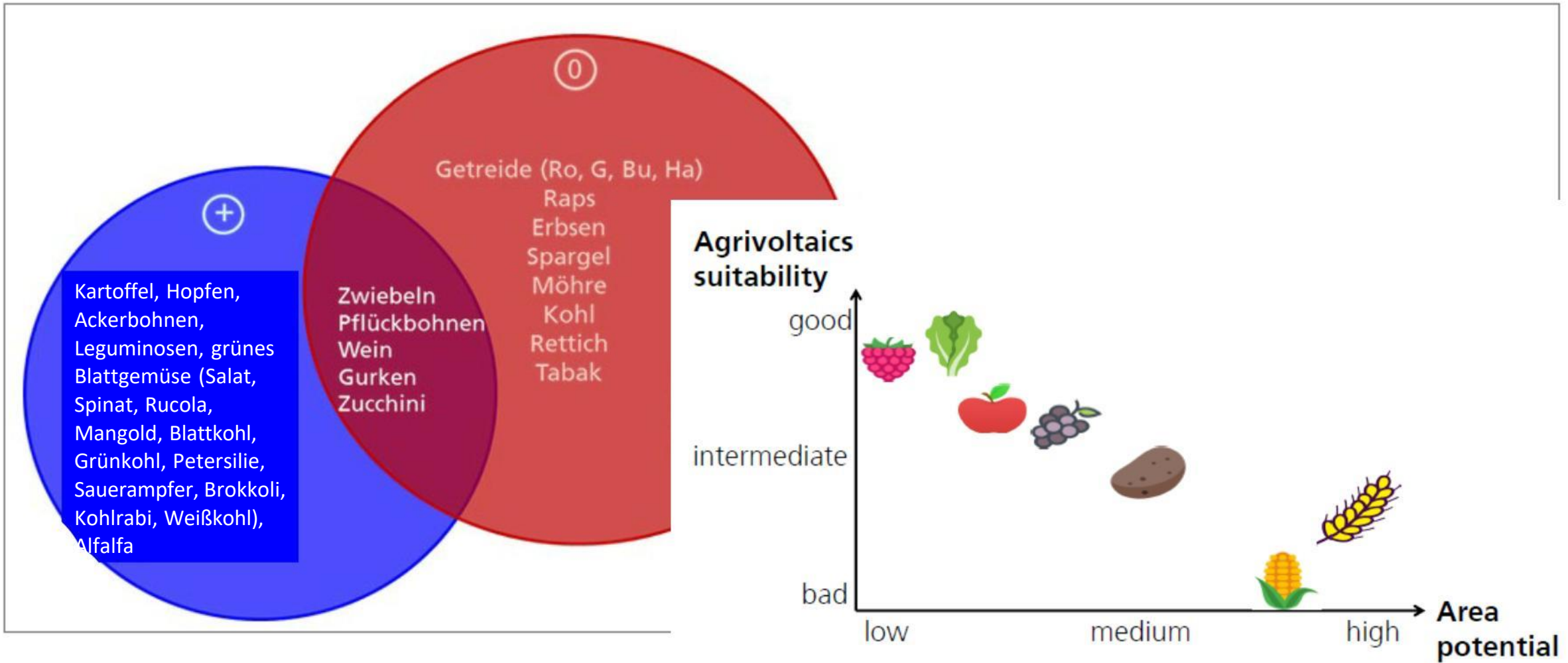
- hohen Temperaturen
- Trockenheit

abhängig von Kulturpflanze

Einordnung der Schattentoleranz von in Deutschland relevanten Nutzpflanzen



Einordnung der Schattentoleranz von in Deutschland relevanten Nutzpflanzen



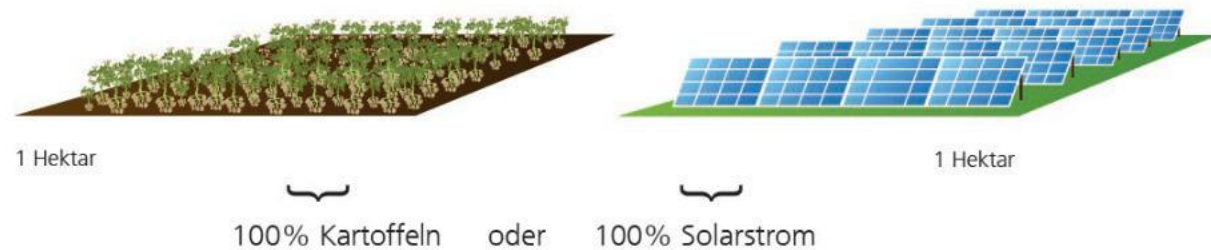
Flächenprimärnutzung: Kulturpflanze

- **Spargel** (Belgien) *Steuerung des Mikroklimas*
- **Himbeere, Blaubeere, Erdbeere, Johannisbeere** (Niederlande) *Sehr gute Erträge, kein Windschutz nötig, verbessertes Mikroklima, Ausgleich Tag/Nachttemperatur, Pflanzen trockener – weniger Pilzbefall, ökonomische Einsparungen*
- **Blattgemüse** *gesteigerter Ertrag (Biomasse)*
- **Brokkoli, Paprika** – *gleicher Ertrag bei > 85% Sonnenlicht*
- **Fruchtgemüse** – *Tomate höherer Ertrag; gleicher Ertrag bei bis zu 45% Beschattung*
- **Wein, Apfel, Birne** (Italien, Japan) – *besserer Schutz gegen Witterung*
- **Mais, Weizen, Reis, Tee** (Italien, Japan) – *keine Ertragsminderung, teils Erhöhung*

Länder: Italien, Japan, Frankreich, Niederlande, Belgien, Österreich, Malaysia, Korea, Taiwan, USA....

Offene Fragen: optimale Kombination von PV Technik und Anbaukultur, Kommerzialisierung der Stromerzeugung: Eigennutzung & Netzeinspeisung, Investoren/Genossenschaften

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



Gemischte Flächennutzung auf 1 Hektar Ackerland: 186% Landnutzungseffizienz

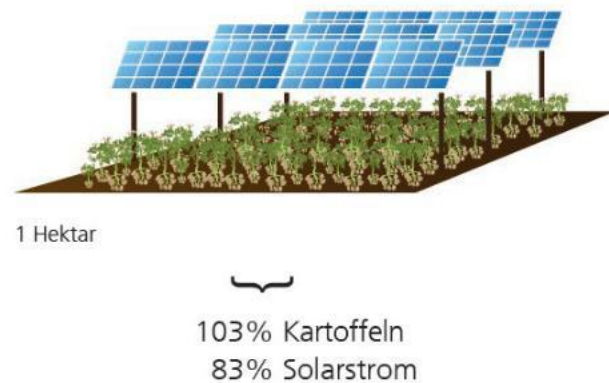


Illustration Kartoffeln © HappyPictures / shutterstock.com

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

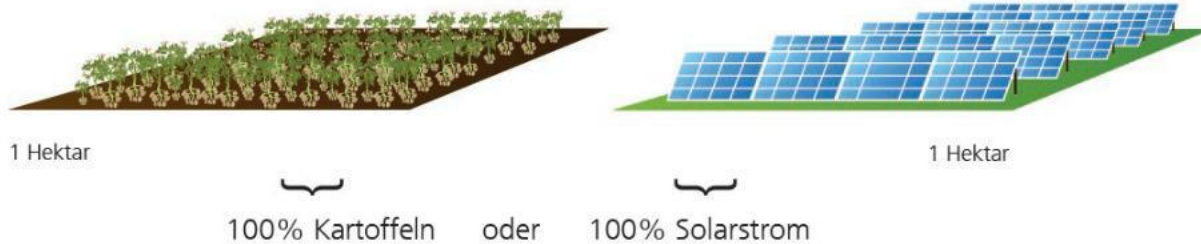
2017: Ertrag 18% reduziert

2018: Ertrag 11% gesteigert

(Obergefell 2016, Fraunhofer ISE 2020)

LER* von APV-Anlagen, Potential für die Gesellschaft

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



APV kann LER einer Fläche steigern

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

Gemischte Flächennutzung auf 1 Hektar Ackerland: 186% Landnutzungseffizienz

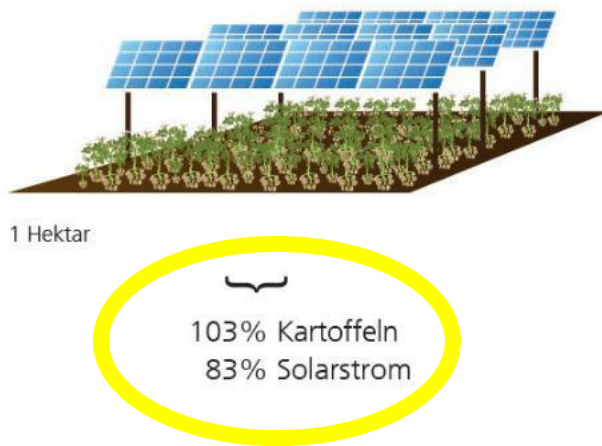


Illustration Kartoffeln © HappyPictures / shutterstock.com

Vorteile:

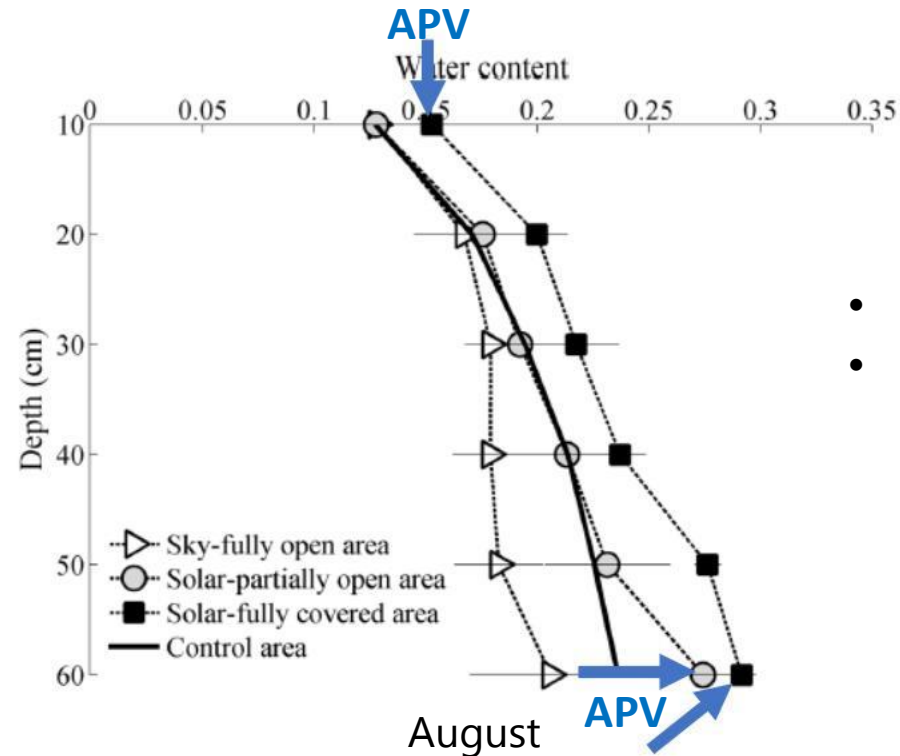
- Doppelnutzung
→ Keine Landnutzungskonflikte
und Steigerung Ressourceneffizienz
- Flächeneffizienzsteigerung um >6%
möglich
- Diversifizierung der Einkommensstruktur
von Landwirten

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

Niedersachsen

- **Kartoffel**, **Spargel** (10 Jahre), **Erdbeere** (2 Jahre), Heidelbeere (20 Jahre), Apfel (20 Jahre)
- Frage: Standzeitraum, Fruchtwechsel, geeignete Vor- / Nachkulturen
- Diese Kulturen bringen es gemeinsam auf eine **Anbaufläche von etwa 17500 ha** in **Niedersachsen**; gelänge es, auf **10% dieser Fläche eine Doppelnutzung mit APV zu realisieren**, so würde das je nach APV-Anlagentyp eine installierte Leistung von **0,7 GW bis 1,5 GW** bedeuten.

Standortbezogene Bodenfeuchte steigt bei Trockenheit

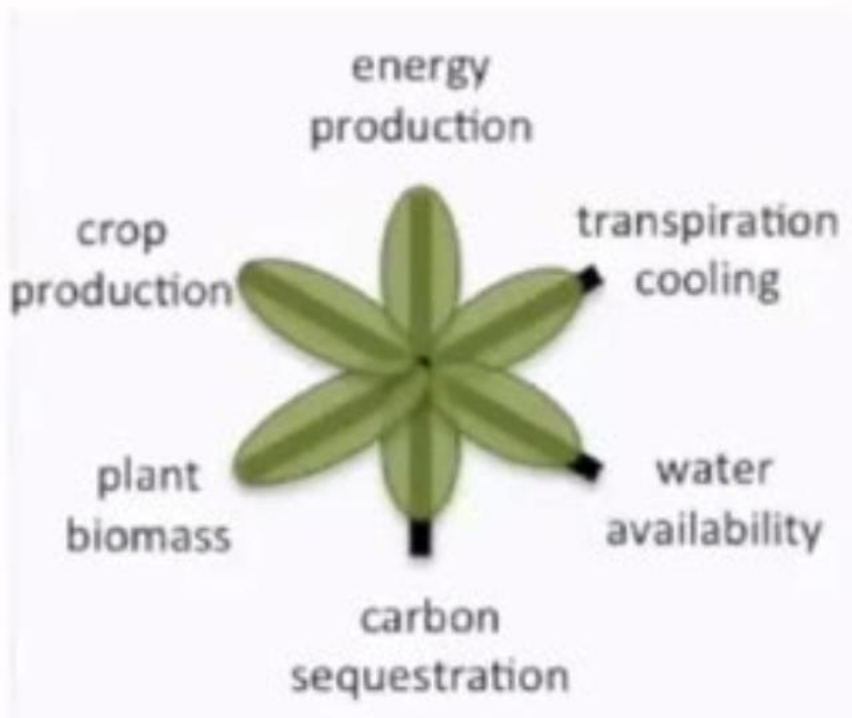


- **Reduktion des Bewässerungsbedarfs**
- **Trockene Standorte nutzbar**

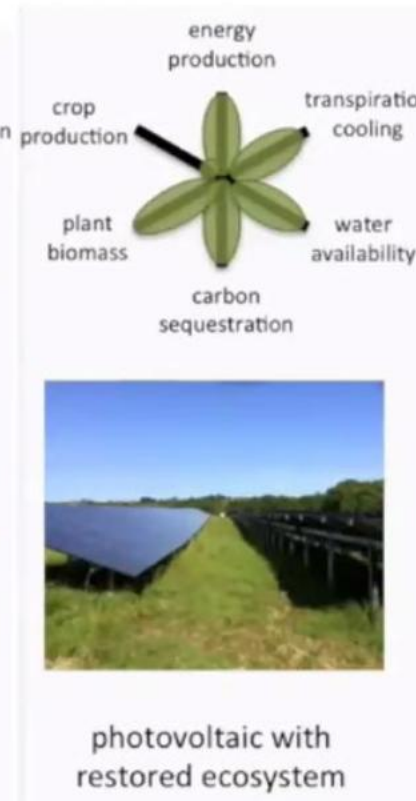
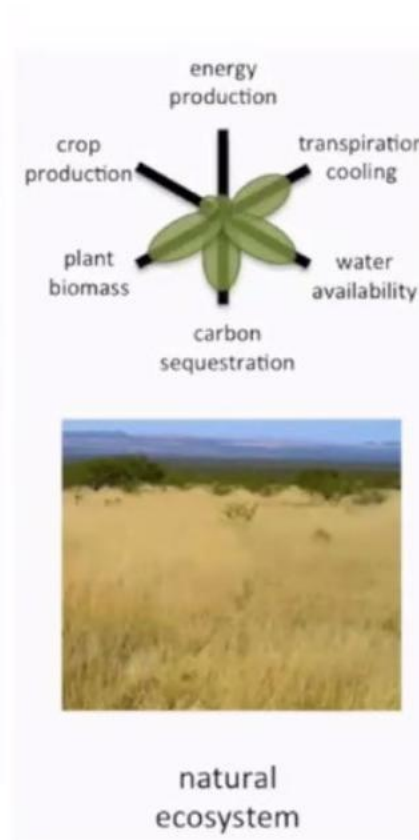
Veränderung der Bodenfeuchte an verschiedenen Messpunkten unter der APV-Anlage und unter freiem Himmel in Abhängigkeit der Bodentiefe

Vorteile von APV-Anlagen für (Land-)Wirtschaft und Ökosystem

APV



FFPV



APV



Klimaschutz durch Elektrifizierung, Robotik, Digitalisierung

- Einsparung fossiler Energien durch Reduzierung des Befahrens der Fläche
- Elektrische Beikrautroboter und Traktoren nutzen **APV** Strom
- Gezielte Kulturmaßnahmen durch Sensorik (Bodenfeuchte, Klima, Wachstumsparameter...)



Foto: Tino Hutschenreuther, imms

Klimasensorik,
Drohnenbefliegung und Bodenfeuchtesensorik

Agrar-Robotik

Roboterschwärme entlasten den Feldarbeiter

7. Juni 2018



2014 startete Agco das MARS-Projekt (Mobile Agricultural Robot Swarms) zusammen mit der Hochschule Ulm, inzwischen wird unter der Marke Fendt Xaver die Serienreife angestrebt
Bild: Agco

Neue Entwicklungen: Transparente PV Folien für Gewächshäuser, PV-aktive Netze

Thin-film amorphous silicon greenhouses begin to sprout

- transparent zinc oxide back conductive layer and clear front glass coated with fluorine tin oxide
- PV area laminated in between two sheets of glass
- 8% conversion efficiency, 66 W m⁻²
- higher red spectrum (600-700nm) ideal for photosynthesis
- 35% increased profit with spinach&PV.



Organische PV:
semitransparente,
flexible Module



Peretz & Teitel, Israel, 2020

Polykristalline
Siliziummodule



N21 Renewables 2018 Global Status Report

Semi-transparente Module, dachintegriert & Solarbeschattung mit PV Modulen



Fa. Brite Solar



Solarbeschattung (solar blind) mit PV
(Alinejad et al. 2020)

Fazit: APV für Kulturpflanzen, Boden und PV Module



Mögliche Auswirkungen auf Boden und Pflanzen

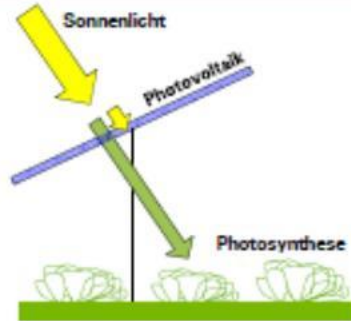
- Sinkender Bewässerungsbedarf durch Beschattung
- Regenwasserauffang und -speicherung
- Steigerung der Widerstandsfähigkeit gegen Hitze und Trockenheit
- Wetterschutz: Stabilerer Ernteertrag durch geschützteren Anbau
- Positive Auswirkungen auf Pflanzenwachstum bei schattentoleranten Pflanzenarten
- Verlängerung der Anbauzeiten
- Erhöhte Bodenfeuchte und CO₂ Speicherung



Mögliche Auswirkungen auf Energieproduktion:

- kühlender Effekt auf PV-Module
- Steigerung der Effizienz (pro PV-Modul)

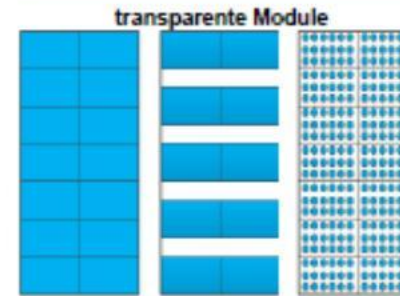
Produktion von Nahrungsmitteln



„Schatten“-Pflanzen:
Kartoffel, Salat, Zucchini, Spinat, ...

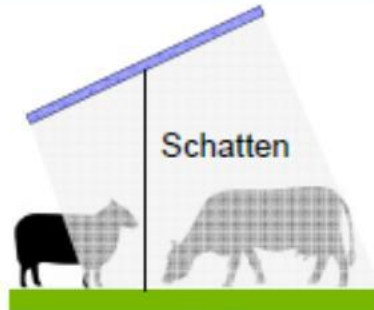


Erzeugung von Energie



Erneuerbare Energien:
Sonne → Photovoltaik → Strom

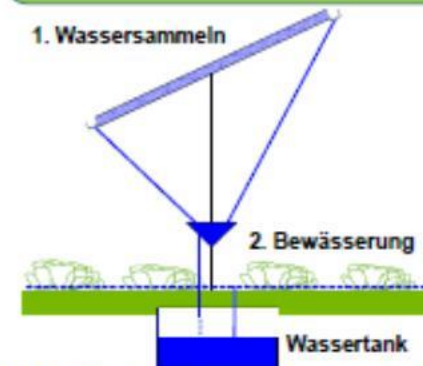
Potential für Schatten



aride und semiaride Gebiete:
Landwirtschaft unter Schatten und
offener Stall für Vieh

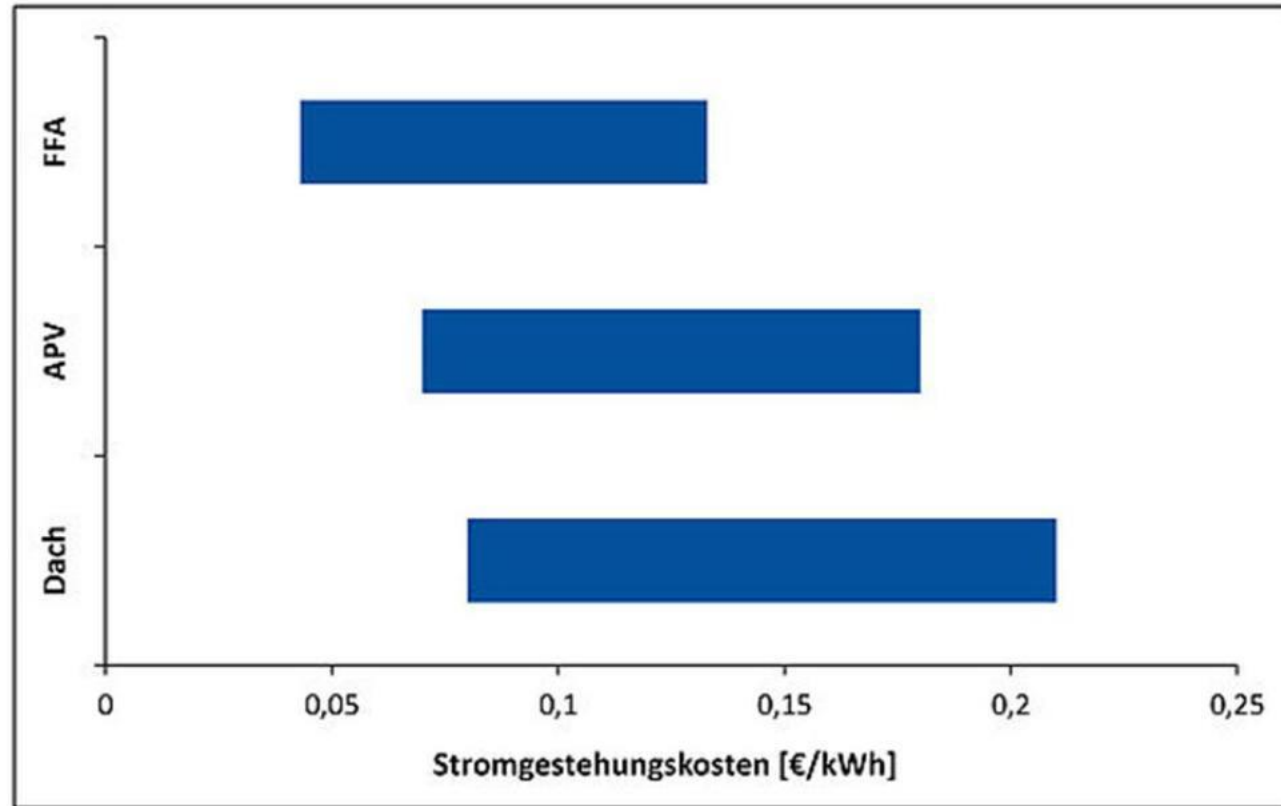


Möglichkeit für Bewässerung



Nachhaltige Bewässerungswirtschaft:
Überbrückung von Trockenzeiten

Vergleich der Stromgestehungskosten von PV-FFA, APV und PV-Dachanlagen



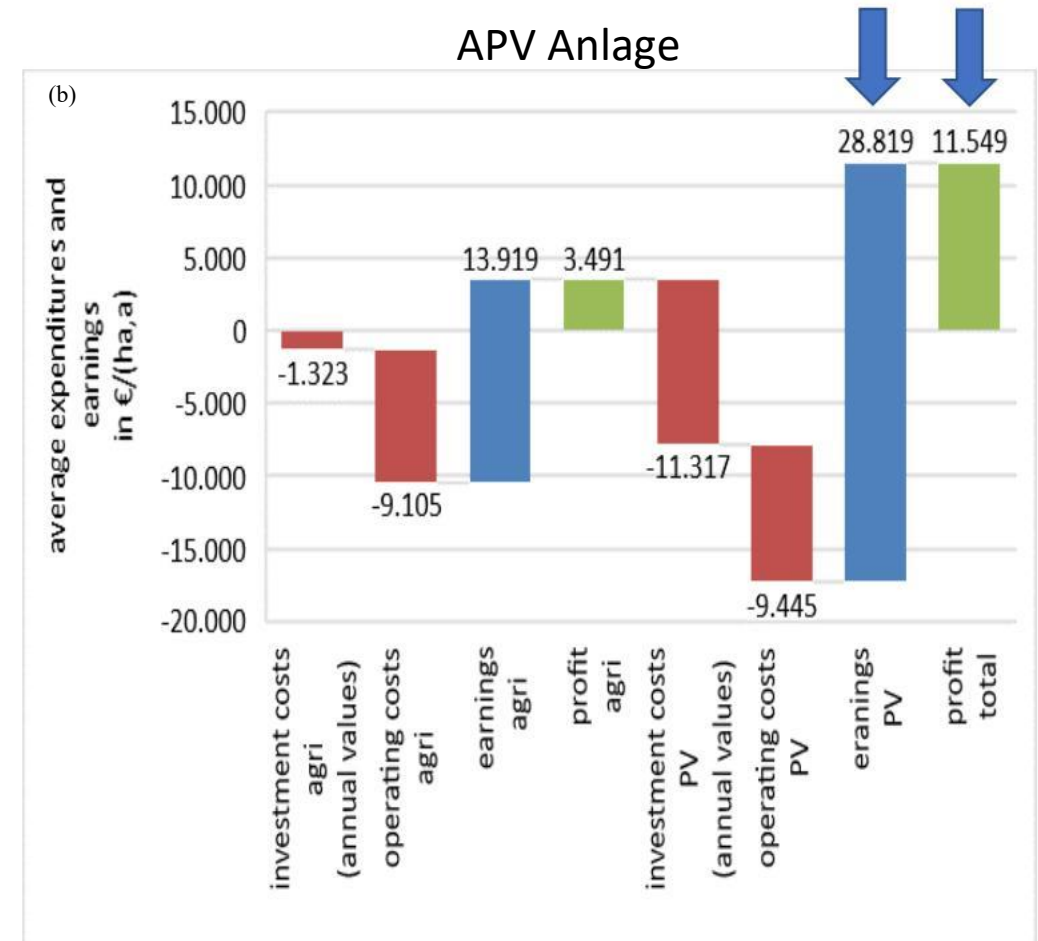
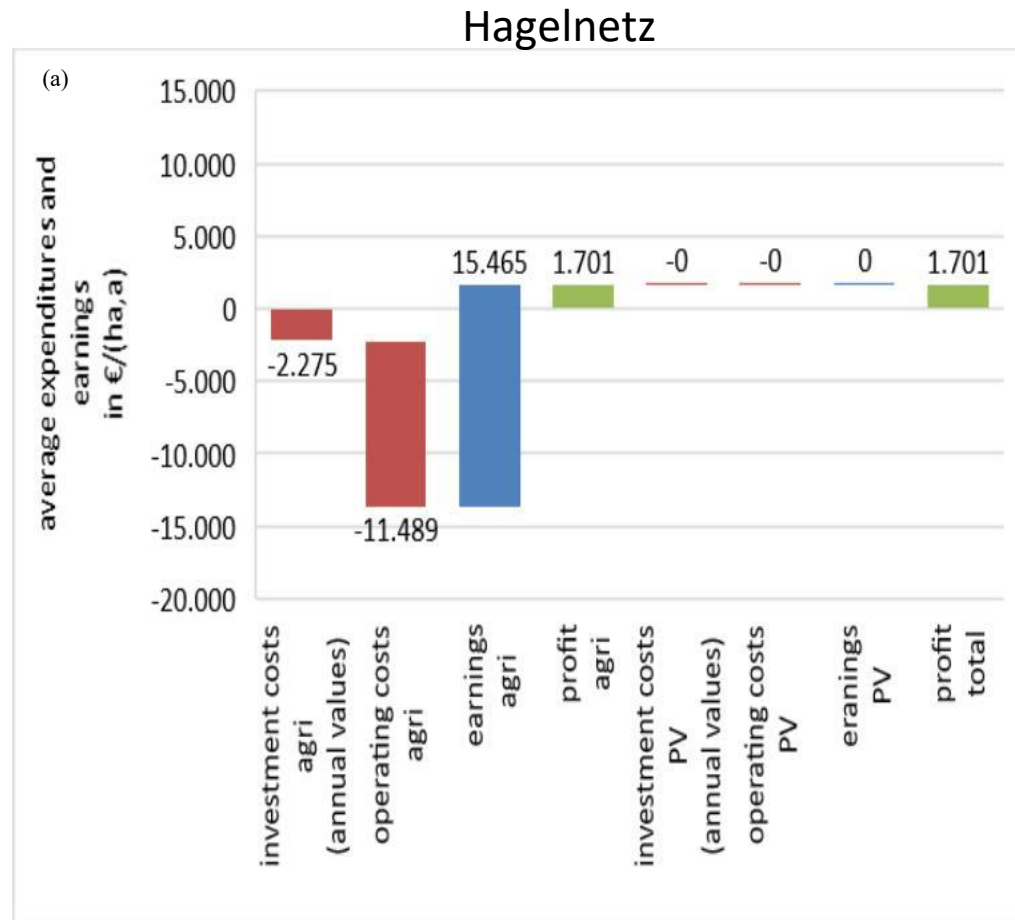
Effizienz der Energieerzeugung pro Fläche

- Ein PKW mit einem Diesel-Verbrennungsmotor, der 5,5 l Biodiesel pro 100 km verbraucht, kommt mit dem Jahresertrag eines **1 Hektar** großen Rapsfeldes ca. **32.000 km** weit.
- Mit dem Jahresertrag einer **PV-Anlage** von **1 Hektar** fährt ein batterieelektrisches Fahrzeug (E-Auto, Verbrauch 16 kWh pro 100 km) ca. **4,3 Mio. km**, die Reichweite liegt um den **Faktor 133** höher

FFPV:

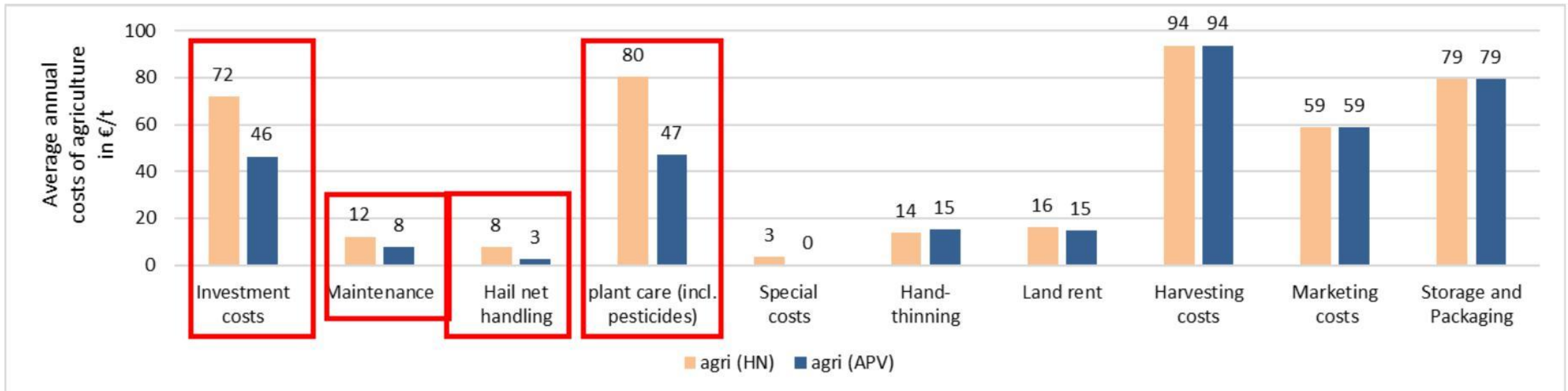
- Investitionen ca. 700.000 €/MW für Anlagen mit 0,75 MW Leistung
und 500.000 €/MW für Anlagen mit 200 MW Leistung (Altmann, S. 2020)
- Stromgestehungskosten von deutlich unter 50 €/MWh realistisch
- FFPV: erreichbar: ~54.000 € /ha.a für derzeitige Technik
~72.000 € /ha.a für eine flächenertragsoptimierte Anlage
- Bundesnetzagentur: Anlagen ab ca. 1-2 ha Anlagengröße bei Ausschreibungen im EEG konkurrenzfähig

Apfelanbau: ökonomischer Vergleich Hagelnetz und APV Anlage



Cashflow jährliche Kosten (rot), Ertrag (rot), Gewinn (grün) über 30 Jahre

Durchschnittliche, jährliche Kosten der Wertschöpfungskette Apfelanbau pro t Ernteprodukt



1700 GW APV – 3,8% APV Belegung bei vollständiger Deckung des PV Ausbaubedarfs

1400 GW Gebäude

134 GW Siedlungsfläche

55 GW Geflutete Tagebaue

58 GW Verkehrsfläche Straße

9 GW Verkehrsfläche Schiene

5 GW Lärmschutz

33 GW PKW

8 GW LKW

Weltweit derzeit min. 2,5 GWp installierte Leistung

1% der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit APV
= Deckung des globalen Energiebedarfs

Vergütungsmöglichkeiten

- Förderung momentan noch unklar;
- Hürde: PV-FFA in Gesetzgebung als „hauptsächlich nicht landwirtschaftlich genutzte Fläche“ definiert und fällt damit aus der landwirtschaftlichen Förderung (Eisel & Heintze 2019)

Energetische Förderung

- Beispiel: Pilotprojekt APV-Resola keine EEG Förderung
(Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie 2019 b)
- Beispiel: **EEG Förderung für APV Projekt in Dirmingen**
(Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie 2019 a)

Landwirtschaftliche Förderung

- Derzeit keine allgemeine Regelung zur Förderung nach § 12 Abs. 3 Nr. 6 Direktzahlungen-Durchführungsverordnung; keine Beihilfen möglich
- Urteil des VG Regensburg (RO 5 K 17.1331), dass **Förderung nicht ausgeschlossen, sondern erst wenn landwirtschaftliche Nutzung stark eingeschränkt oder ausgeschlossen ist**
(Eisel & Heintze 2019)

Vergütungsmöglichkeiten

EEG Novelle 2021:

- Innovationsausschreibungen im Jahr 2022 (einmalig)
- Max 50 MW: APV, FPV (schwimmend), Parkplatzüberdachungen
- Anlagen 100kW-2MW

Mit klaren bzw. verbesserten Regelungen: Implementierungsanreize für Landwirte

- Zusätzliche Einkommensquelle für Landwirte (Pachtvergütung, Stromverkauf)
- Stromkosteneinsparpotential durch Eigenstromerzeugung

(Diermann 2018)

Zu klären

- Eigentumsverhältnisse – Pächter / Eigentümer involvieren

Empfehlungen an kommunale Stakeholder (PV-FFA)

Empfehlung 1: Ausweisung geeigneter Flächen für PV-FFA unter Beteiligung der Öffentlichkeit und der Anwohnenden

Empfehlung 2: Entwicklung eines ökologischen Gesamtkonzepts für die geplante PV-FFA inklusive ökologischer Baubegleitung

Empfehlung 3: Ermöglichung von Bürgerbeteiligung an der Solaranlage

- Flächen in Landes- und Regionalplanung, auf denen EEG Förderung realisierbar ist aber in Zukunft auch ohne EEG Förderung nutzbar
- Für Interessensausgleich mit Landw.vorrangig ertragsschwache Flächen
....Kategorie ‚benachteiligte Gebiete‘ nach EU Recht
- Eine Ausweisung als Vorranggebiet oder Vorbehaltsgebiet für Solar bedeutet lediglich, dass auf diesen Flächen leichter ein Bebauungsplan beschlossen werden kann weil keine Abweichung vom Regionalplan erforderlich und Gemeinde Flächennutzungsplan leicht ändern kann. Vorranggebiet schließt landw. Nutzung aus (!!!!)

Badelt et al. 2020 Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft

- **Explizite Ermöglichung von simultaner landwirtschaftlicher und PV Nutzung**
 - **Regionalplanung und Gemeinden**

APV als innovativer Ansatz um

- Energie- und Lebensmittelproduktion zu vereinen
- Synergieeffekte aus der Doppelnutzung zu kreieren
 - Wassereinsparungen
 - Ernteertragssteigerungen
 - Energieertragssteigerung
 - Diversifizierung des Einkommens von Landwirten
- Neue Adaptions- und Mitigationsmaßnahmen umzusetzen

Technisch hohes Potential verfügbar, Gelingen ist abhängig von

- Reaktion Nutzpflanzen
- **Politischen Regulationen (Fördertatbestand EEG & Änderung Gebietsdefinition)**



Vielen Dank!

Quelle: BayWa r.e

Regelungen

- Solarfreiflächenanlagen (FFPV) nach EEG 2017 nur gefördert, wenn in Kategorie:
,Fläche mit Bebauungsplan‘, ,Fläche ohne Bebauungsplan‘
bis 750 kWp; >750 kWp – 10MWp mit Ausschreibung
- Ausschreibung immer:
Fläche ohne Bebauungsplan im Eigentum des Bundes
Bebauungsplan in benachteiligten Gebieten im Acker und Grünland
- Kategorien: - mit beschlossenen Bebauungsplan B-Pläne - mit beschl. Bebauungsplan zur Solarnutzung Solar B-Pläne
- Zuständig: Bauaufsichtsbehörde

- **Bei Direktvermarktung 100% EEG Umlage zahlen – entsprechen 20% des Strompreises**
- **bei Eigenversorgung nur 40% EEG Umlage**
- Vermarktung mit Vertrag (PPA= power purchase agreement) ohne EEG Förderung, mit 100% EEG Umlage
- Durch weitere Kostenreduzierung der PV Komponenten wird PPA in nächsten Jahren lukrativ
- **Landes- und Regionalplanung sollte Flächen ausweisen, die mit und ohne EEG Förderung funktionieren:**
 - EEG gefördert und Eigenversorgung, mit und ohne B Plan
 - eingeschränkte Vermarktung, mit B Plan (benacht. Acker/Grünl.), ohne B Plan (Bund)
 - „ertragreiche Flächenkategorie, die sich für Direktvermarktung eignet (PPA) für APV, mit Freiflächenverordnung für FFPV für EEG Förderung öffnen“, benachteiligte Gebiete in Acker und Grünland
- Raumordnungsrechtliche Randbedingungen für FFPV (je nach Bundesland; Niedersachsen....)
 - Landw. genutzte, nicht bebaute Flächen mit raumordn. Vorbehalt Landw. dürfen nicht in Anspruch genom. werden.
 -aber eigentlich offen nach §7, Abs. 3 Nr. 2 ROG für weitere Nutzungen.....

Referenzen jeweils auf den Folien.

Speziell:

Studie Leibniz Universität Hannover

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

Fraunhofer ISE. 20.2.2021. Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. www.pv-fakten.de