

Facts und Figures zur Agri-Photovoltaik in der Schweiz



Energie- und Umweltforum, ZHAW
School of Engineering und von
Stadtwerk Winterthur, 20.11.2024

Foto: Matthias Baumann, ZHAW

Mareike Jäger

Leitung [Forschungsgruppe Regenerative Landwirtschaftssysteme](#), Dozentin

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

mareike.jaeger@zhaw.ch

Agri-PV: was ist das überhaupt?

Agri-PV folgt der Idee, dass Nahrungsmittel- und Energiesicherheit nicht als konkurrierende Ziele betrachtet werden, sondern Solarentwicklung und Landwirtschaft zum gegenseitigen Nutzen integriert werden sollten.

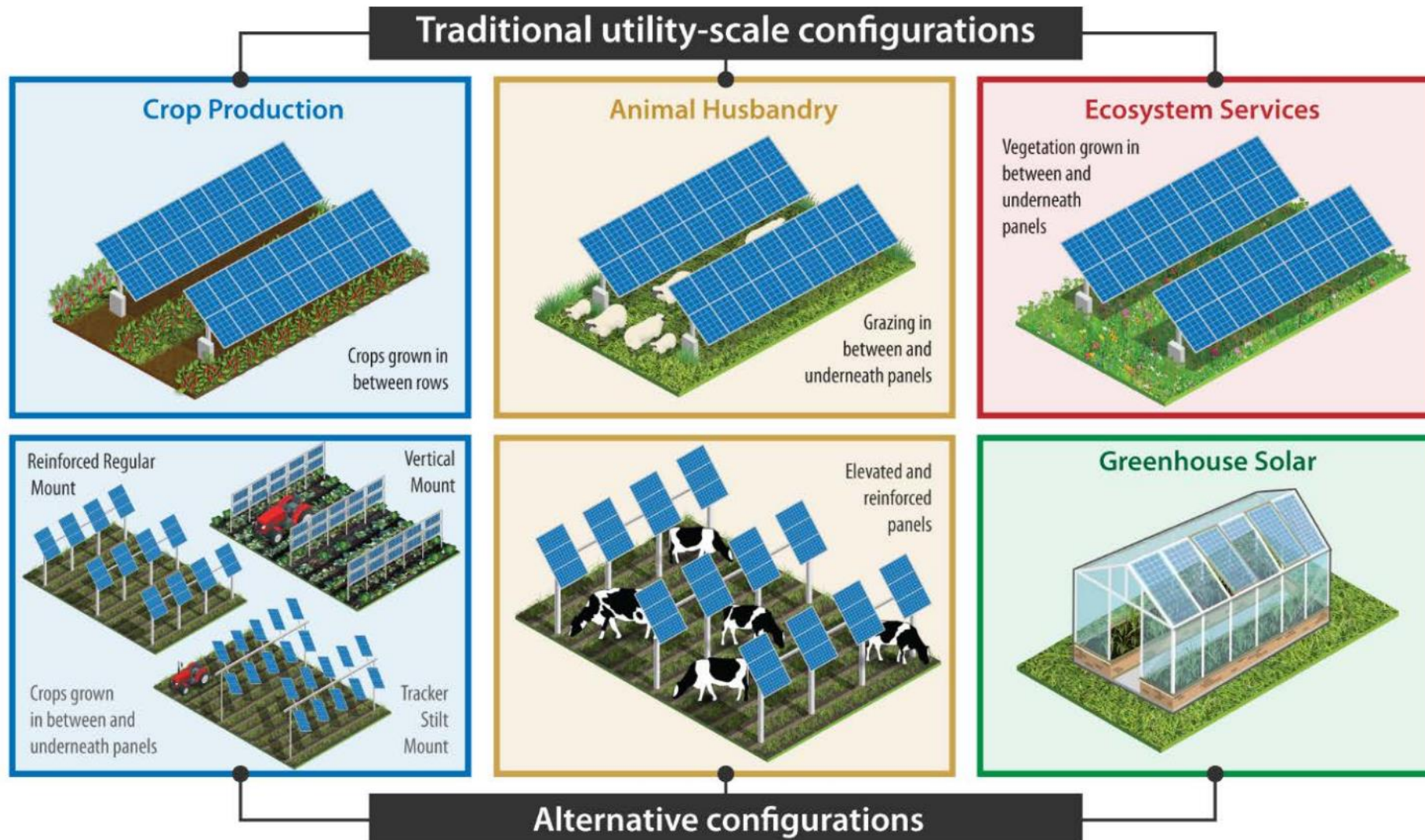
Forschung konzentriert sich darauf, landwirtschaftliche Nutzung und Photovoltaik-Infrastruktur gemeinsam anzusiedeln, um bestenfalls Ernteerträge zu steigern, den Wasserverbrauch zu verringern und daneben effizient erneuerbare Energie zu produzieren.



Quelle: Remtec

Agri-PV Systeme und Anwendungen

Agri-PV-Anwendungen umfassen Pflanzen- und Nahrungsmittelproduktion, Viehhaltung, Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen durch Vegetationsmanagement und Solargewächshäuser



Agri-Photovoltaik – Anwendungsbeispiele aus der Schweiz



Source: Bioschmid
<https://agri-pv.bioschmid.ch/>



Projekt Solberry, Kanton Bern



PV-Weinberg im Kanton Glarus, Foto ZHAW

In der CH ca. 10 – 15 konkrete Agri-PV Projekte
entweder gerade am Entstehen oder noch im
Bewilligungsprozess – vor allem im Bereich der
Dauerkulturen (Obst und Beeren)

Anwendungsbeispiele in Deutschland und Italien



Forschungsanlage in Heggelbach (DE), Agri-PV über Ackerkulturen, Quelle ZHAW



Foto: Next2Sun, Anlage in Donaueschingen



Foto: Agri-PV Anlage mit 3D-Achsen-Trackern in Italien, Quelle Remtec

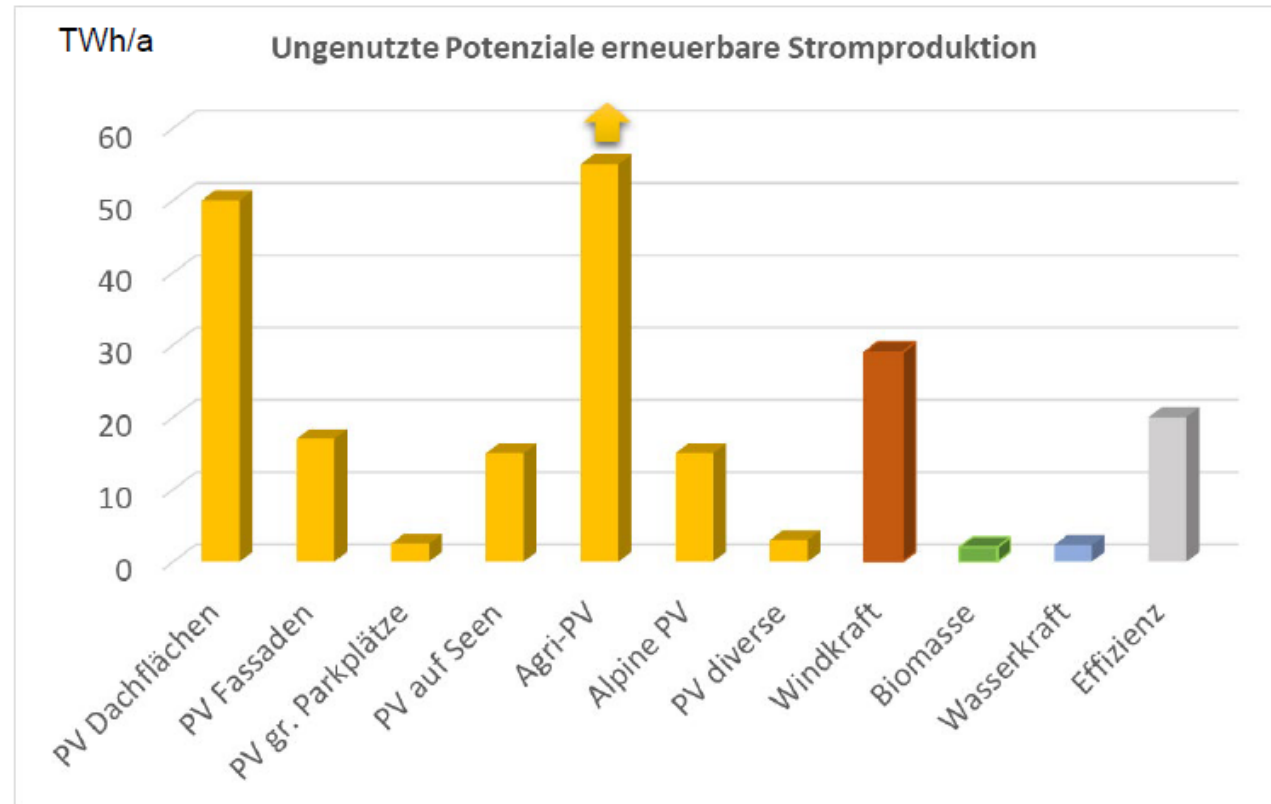
Rechtliche Rahmenbedingungen

Am 6. Juni 2024 hat die Schweizer Bevölkerung über ein neues Stromgesetz abgestimmt. Bis dahin war die Agri-PV nur auf Verordnungsebene geregelt. Neu wurde folgende, sehr schwammige, Gesetzesgrundlage geschaffen:

²Solaranlagen, die sich innerhalb von landwirtschaftlichen Nutzflächen nach Artikel 14 LBV befinden, gelten als standortgebunden, wenn sie:

- a. *neben der Stromproduktion die landwirtschaftlichen Interessen nicht beeinträchtigen und Vorteile für die landwirtschaftliche Produktion bewirken;
oder*
- b. *landwirtschaftlichen Versuchs- und Forschungszwecken dienen.*

Ungenutztes Potential zur erneuerbaren Stromproduktion und Stromeffizienz in der Schweiz



Datenquellen: BFE, EnergieZukunftSchweiz, eigene Berechnungen

- Heutiger Strombedarf: 60 TWh/a
- Strombedarf nach Dekarbonisierung/
Elektrifizierung:
ca. 80 bis 90 TWh/a
- Wasserkraft produzierte in den
letzten Jahren jeweils ca. 39 TWh/a
- **Zusatzbedarf von 40 bis 50 TWh/a**
(Ersatz AKW und Mehrbedarf
Dekarbonisierung)

Der Strombedarf für den AKW-Ersatz und die Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems kann in der Schweiz gedeckt werden, wenn die Energieträger effizient eingesetzt werden.

Vermarktung des Stroms aus Agri-PV Anlagen

- Eigenverbrauch gibt i.d.R. die höchste Rendite
- Lokale Energiegemeinschaften (LEG) benutzen das Verteilnetz für die Stromverteilung und zahlen nur einen Teil des Netznutzungstarifes (abhängig von genutzten Netzebenen). Die Verordnung mit den Details ist noch ausstehend. Bedingungen im Vernehmlassungs-Entwurf:
 - Nur innerhalb dem Netzgebiet eines Verteilnetzbetreibers
 - Nur innerhalb einer Gemeinde
 - Die Erzeugungskapazität erneuerbarer Energien muss mindestens 20 % der Anschlussleistung der LEG betragen.
- Marktprämienmodell ab 100 kW (Contract for Difference CfD)
- Power Purchase Agreements (PPA) mit Firmen und Organisationen

Wie hoch ist das theoretische Potential der Agri-PV in der Schweiz?

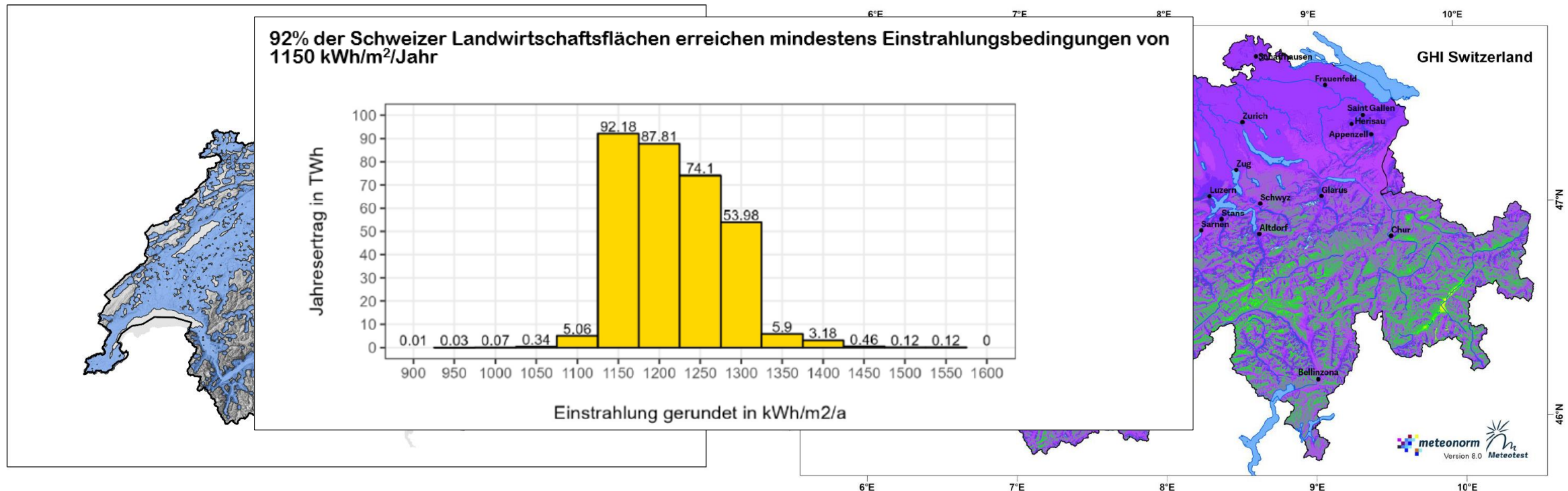
Ergebnisse einer neuen Potentialanalyse von 2024

→ <https://doi.org/10.21256/zhaw-2649>



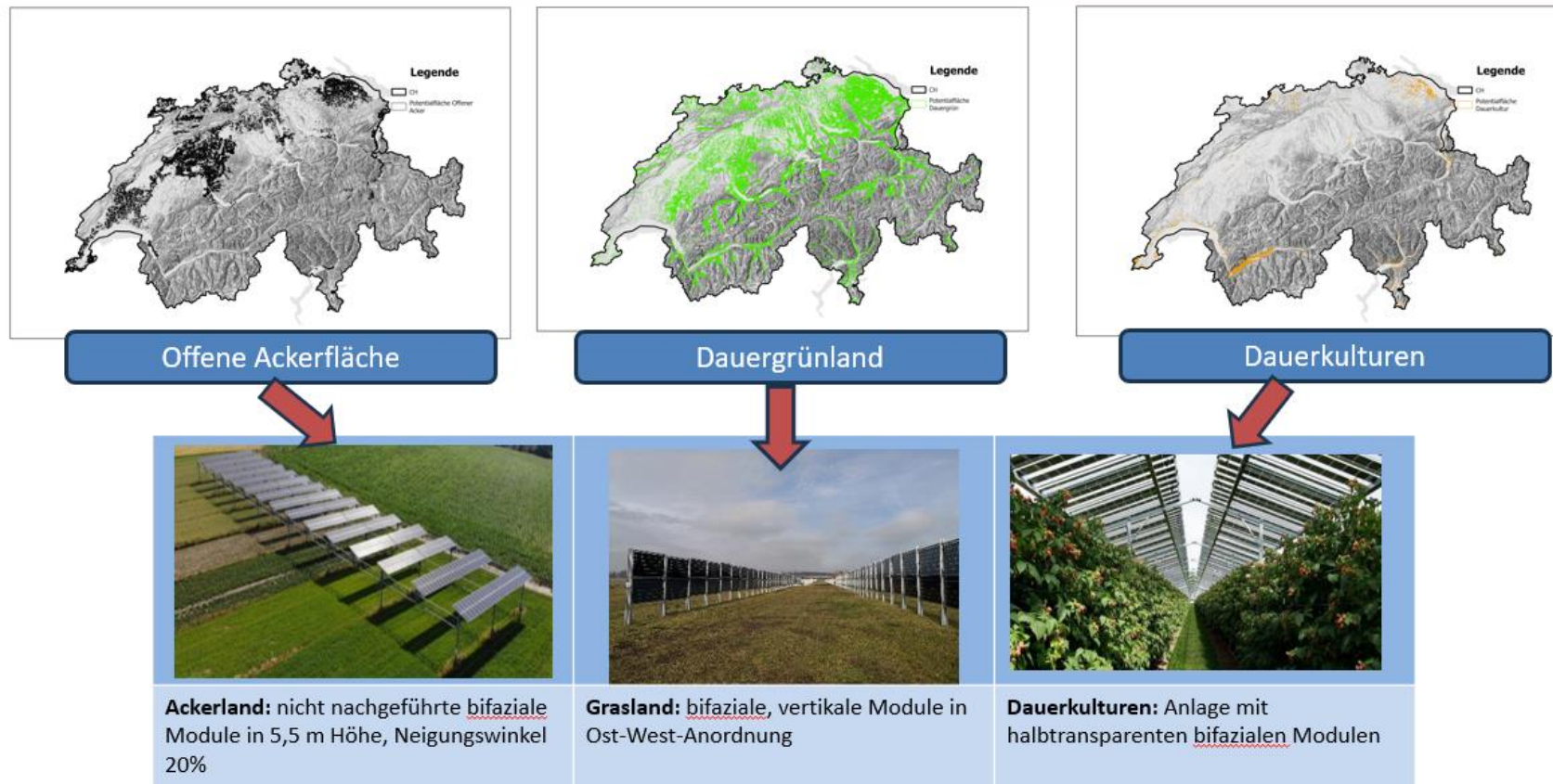
Wie sind wir in unserer Machbarkeitsstudie vorgegangen?

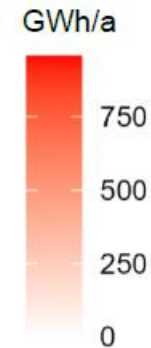
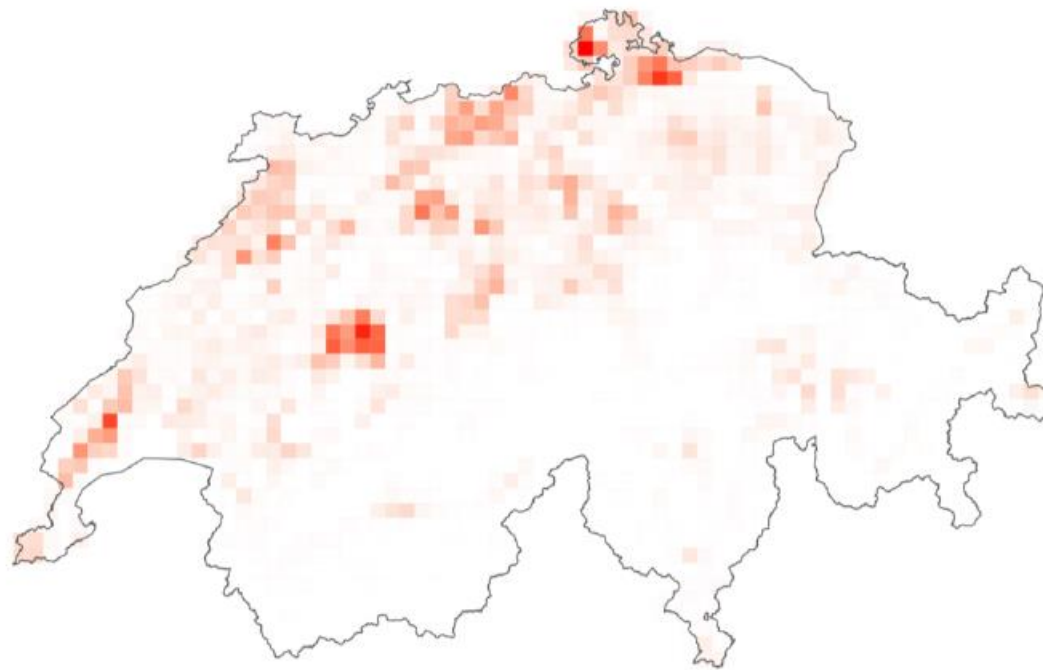
1. Landwirtschaftsfläche in Siedlungsnähe herausgefiltert (1'000 m Buffer) rund ums Siedlungsgebiet.
2. Jährliche und saisonale solare Einstrahlung anhand der [Meteonorm-Einstrahlung](#) pro 100 m Raster berechnet und mit Schweizer Messstationen verifiziert. Es wurden nur Flächen mit Einstrahlungen über 1000 kWh/m² berücksichtigt



Wie sind wir in unserer Machbarkeitsstudie vorgegangen?

3. Schritt: Ertragssimulation basierend auf Referenzstandort für spezifische Anlagentypen (Ackerbau, Grünland, Dauerkulturen).
4. Ausschlussgebiete festgelegt
5. Potential sowohl in ha als auch in TWh berechnet unter Berücksichtigung von: Horizontaler Einstrahlung auf der Fläche (in TMY), Feldgrösse, Kulturart und Jahreserträge des korrespondierenden APV-Systems



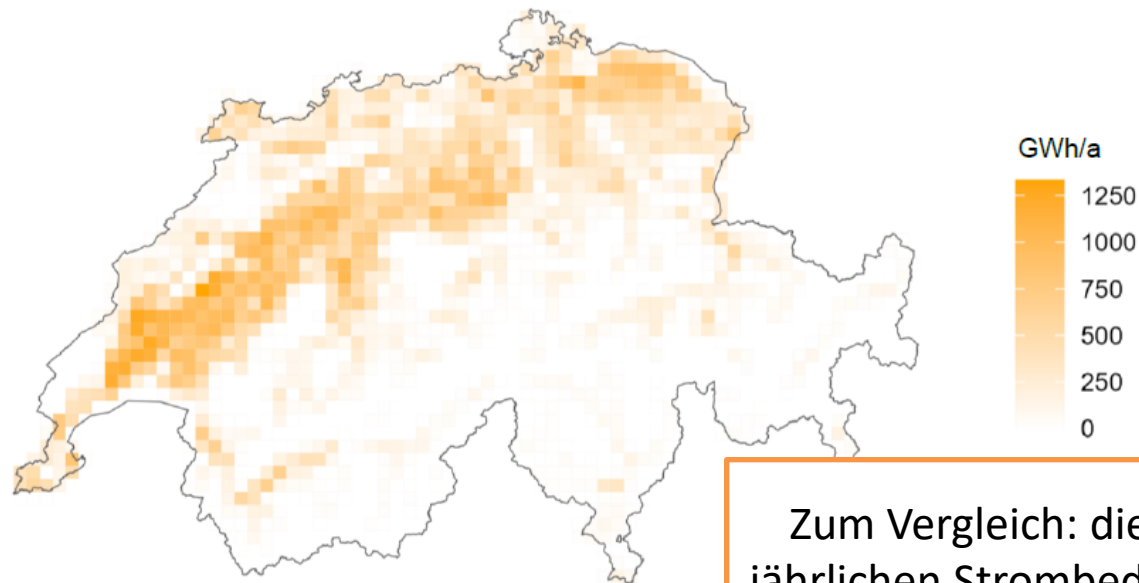


- Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN)
- RAMSAR und SMARAGD Naturschutzgebiete
- Naturpärke
- Moore (Hoch- und Flachmoore)
- Amphibienschutzgebiete
- Nationalpark
- Biosphärenreservate
- UNESCO-Welterbe Naturstätten
- Trockenwiesen und -weiden
- Gewässerschutzzonen S1 bis S3

**Ausschlusskriterien
verringern Agri-PV-Ertrag
um 81,2 TWh/Jahr**

Räumliche Verteilung des aufgrund der definierten Ausschlusskriterien ausgeschlossenen Ertragspotenzials von Agri-PV Anlagen in der Schweiz in GWh/a.

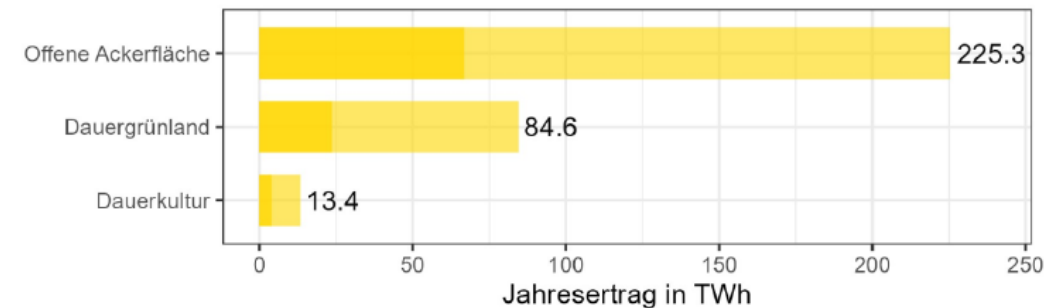
Das Agri-PV-Potenzial erstreckt sich über eine Fläche von 583'499 ha und deckt damit 56 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ab



Zum Vergleich: die Schweiz hat einen jährlichen Strombedarf von etwa 60 TWh

Geografische Verteilung des theoretischen Potenzials in GWh/a für Agri-PV unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien, inkl. Flächen mit Anbau von Mais. Das Potenzial wurde in einem Raster mit einer Zellgrösse von 5 km x 5 km summiert. Der grösste Anteil am Potenzial liegt im Mittelland.

Der gesamte potenzielle Agri-PV-Stromertrag beläuft sich auf 323 TWh/Jahr.

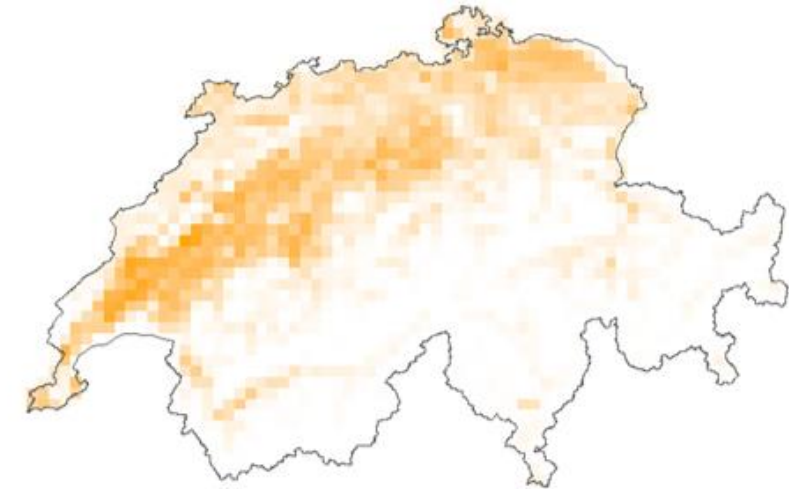


Theoretisches Potenzial von Agri-PV in der Schweiz pro Bewirtschaftungsstatus unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien inkl. Berücksichtigung von Flächen mit Anbau von Mais. Das Potenzial im Winterhalbjahr ist dunkel dargestellt, das Potenzial im Sommerhalbjahr hell.

Agri-PV Potential verteilt auf die Kantone

Kanton	Potenzial in TWh/a	Anteil am Gesamtpotenzial in %	Potenzial in TWh/WH
Bern	59.6	18.4	17.7
Waadt	50.2	15.5	15.1
Freiburg	34.4	10.6	10.3
Zürich	25.9	8.0	7.4
Luzern	21.6	6.7	6.3
Aargau	21.1	6.5	6.0
Thurgau	20.4	6.3	5.7
St.Gallen	16.9	5.2	4.8
Solothurn	10.2	3.2	2.9
Wallis	9.4	2.9	2.9
Graubünden	9.4	2.9	2.9
Jura	9.4	2.9	2.7
Basel-Landschaft	6.1	1.9	1.7
Genf	5.1	1.6	1.5

Theoretisches Potenzial der Agri-PV pro Kanton unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien, inkl. Flächen mit Anbau von Mais. Gezeigt sind Kantone mit einem Potenzial > 5 TWh/a, die vollständige Liste kann der Tabelle 8 im Anhang entnommen werden. WH = Winterhalbjahr (Jan-Mär und Okt-Dez).



Die grossen Agrarkantone (z.B. Waadt, Bern...) haben logischerweise das grösste Agri-PV Potential

Agri-PV Analysetool für Gemeinden

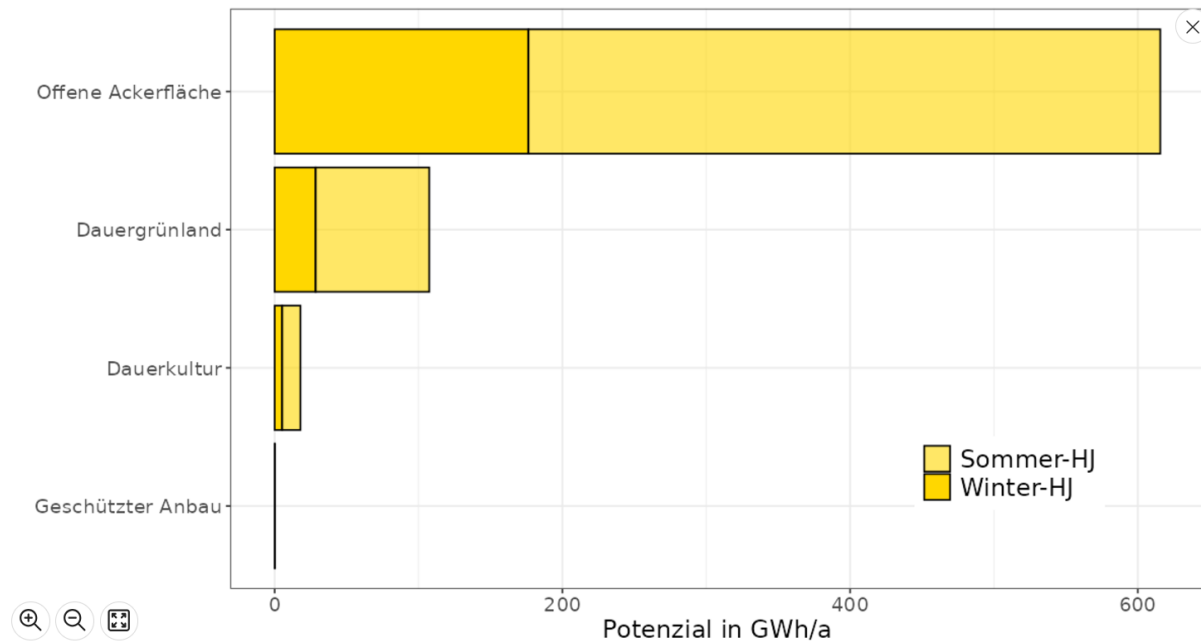
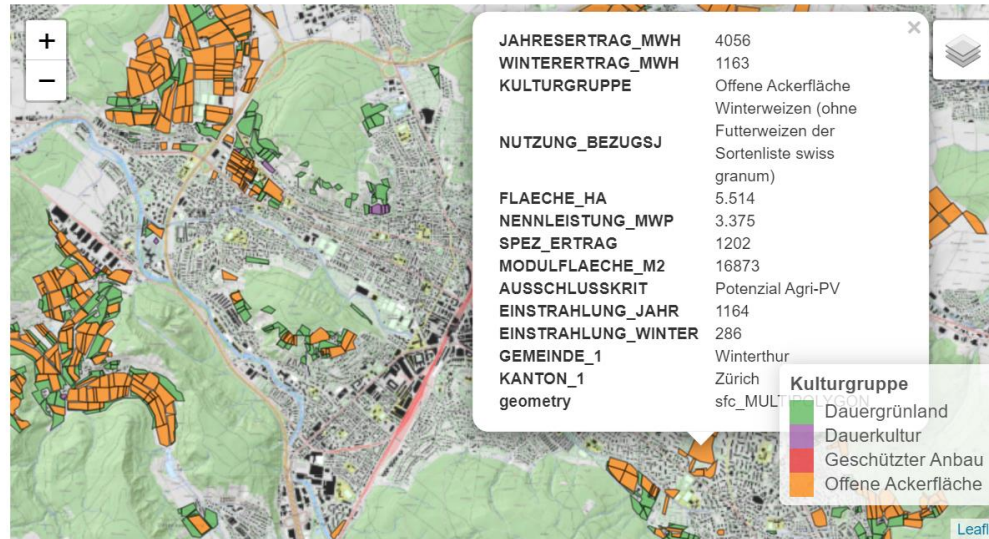
Wähle eine Gemeinde:

Winterthur

Ausschluss von Flächen, die nationale
Schutzkriterien tangieren?

Nein

ZHAW - Forschungsgruppe Erneuerbare Energien



Auch wenn das Potential enorm ist – 56% der Landwirtschaftsfläche auf Agri-PV umzustellen ist unrealistisch und die Agri-PV muss auch nicht alle Probleme lösen.

Aber:

Soll die Agri-PV ungefähr 10% des für 2050 prognostizierten Energiebedarfs decken (ca. 80 TWh/Jahr), müssten ca. 1% Ackerfläche oder Dauerkulturfläche (≈ 10.000 ha) *oder* 2.5% Dauergrünlandfläche auf Agri-PV Nutzung umgestellt werden.

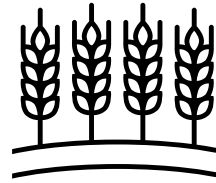


Source: Matthias Baumann, ZHAW

Was bedeuten die Ergebnisse nun für die Schweizer Landwirtschaft und die landwirtschaftlichen Erträge?

abhängig von

- Kultur
- Moduldichte
- Jahr



Ertrag und
Qualität

...Mindererträge in nasseren und kühleren Jahren, umgekehrt in trockenen und heißen Jahren

...Eignung der Kulturarten ist unterschiedlich, je nach Schattenempfindlichkeit

...Bislang hauptsächlich Studien auf Ebene Kulturart und noch nicht auf Ebene Sorte

- Agrisolar, „Best Practices Guidelines“. SolarPower Europe, Mai 2021. Zugriffen: Okt. 05, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2021/05/1721-SPE-Agrisolar-Best-Practices-Guidelines-02-mr.pdf>
- Barron G.A. et al., 2019, Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands, Nature Sustainability, <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- M. Trommsdorff u. a., „Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany“, Renew. Sustain. Energy Rev., Bd. 140, S. 110694, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110694
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S. et al. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. Agron. Sustain. Dev. 39, 35 (2019). doi:10.1007/s13593-019-0581-3
- Trommsdorff, M. et al. Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. Renewable and Sustainable Energy Reviews 140, 110694 (2021). doi:10.1016/j.rser.2020.110694
- Graham, M. et al. Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. Sci Rep 11, 7452 (2021). doi: 10.1038/s41598-021-86756-4

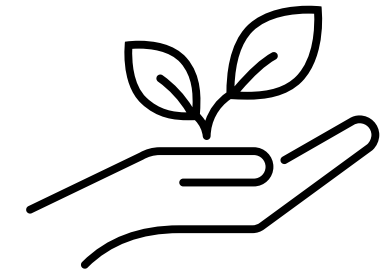
Geringerer
Wasserverbrauch



Wasserverbrauch

Schutz vor Unwettern und Schadorganismen
Regenschutz – trockenere Blätter – weniger
Blattkrankheiten

geringeres Erosionsrisiko
Bestäuber nutzen Lebensräume



Umwelt und
Biodiversität

Stark verringerter Befall mit Falschen Mehltau, höhere Erträge in Jahren mit hohem Befallsdruck



Messungen an Reben zwischen 2020 und 2022 in einem Agri-PV Rebberg in Walenstadt

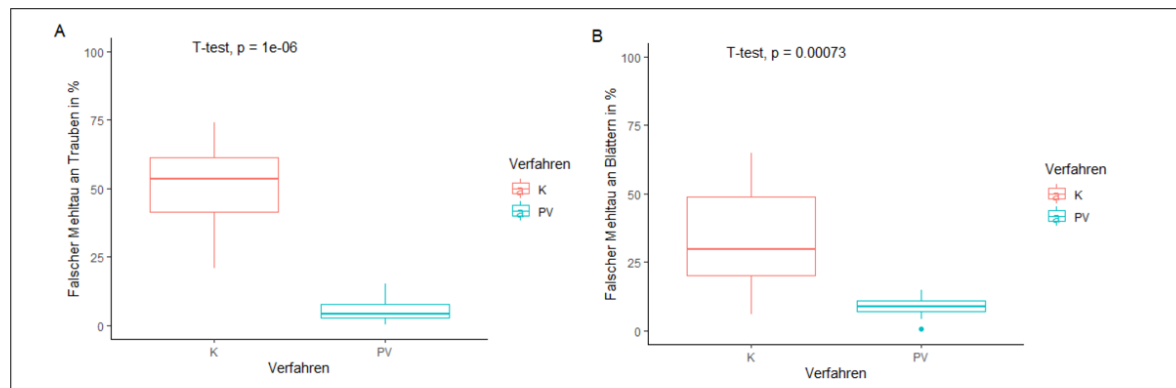


Abbildung 11: Falscher Mehltaubefall in Prozent an den Trauben (A) und Blättern (B) unter den Photovoltaikanlagen und den Kontrollflächen (Gräppi et al., 2021).

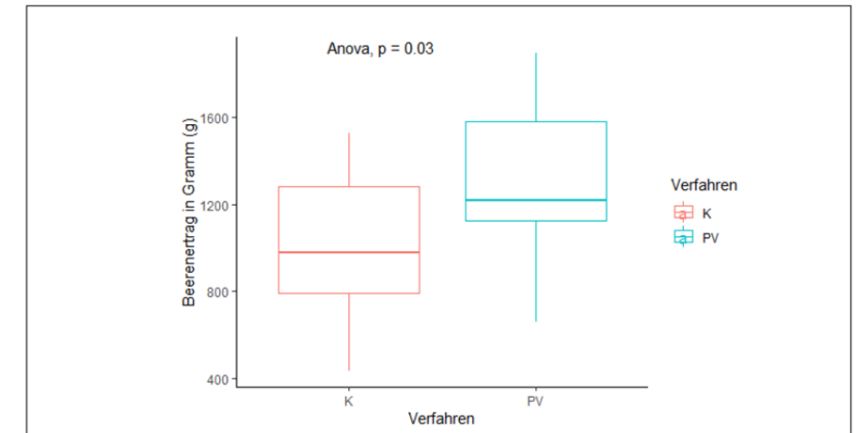
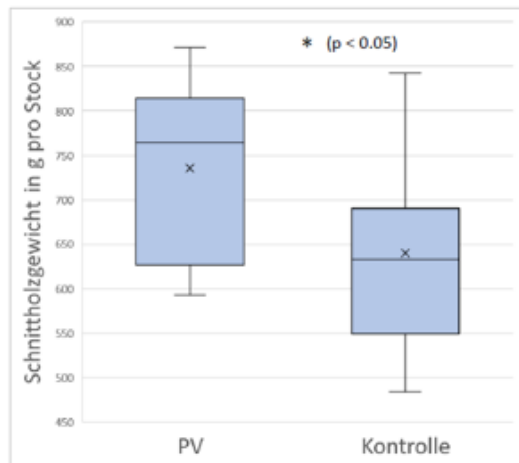


Abbildung 12: Beerenertrag in Gramm (g) pro Verfahren am 09.10.2021 (Gräppi et al., 2021).

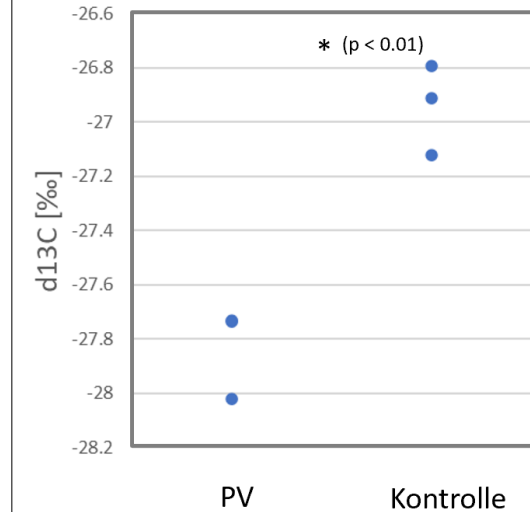
Wuchskraft und Schnittholzgewicht, Auswertungen 2022)



Messungen an Reben zwischen 2020 und 2022 in einem Agri-PV Rebberg in Walenstadt



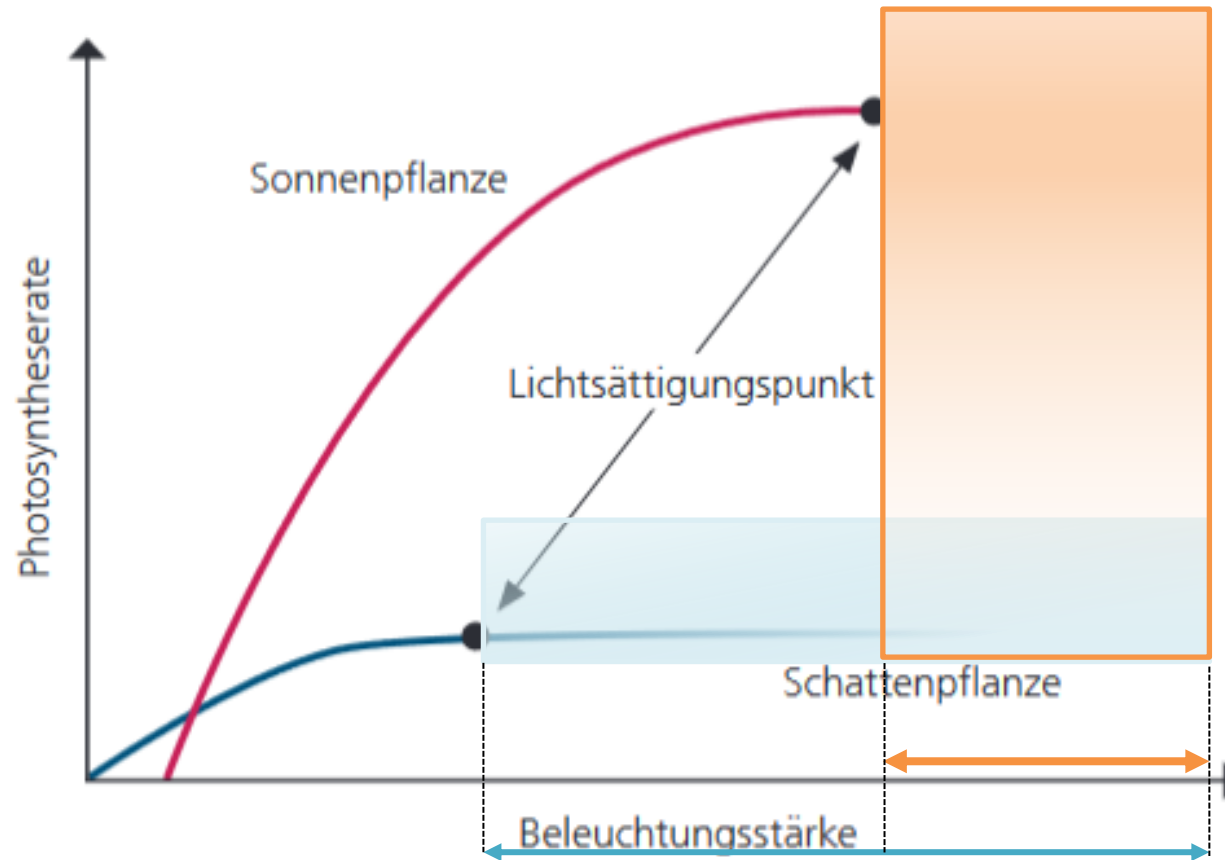
Trockenstress, Isotopenanalyse (Delta ¹³C [‰]), Auswertungen 2022)



Je negativer der Wert, desto weniger Wasserstress

Wo Licht ist, ist auch Schatten!





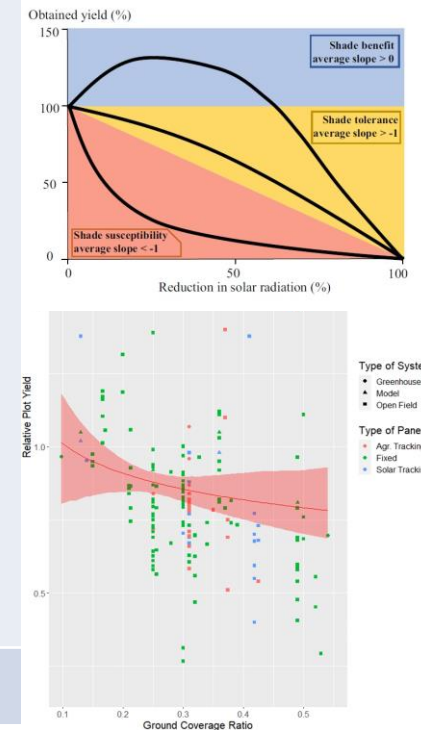
Ab einem bestimmten Punkt können Pflanzen zusätzliches Licht nicht mehr in Photosyntheseleistung umsetzen. Je früher die Lichtsättigung einsetzt, desto besser ist die Pflanzenart für Agri-PV Systeme geeignet.

Potenziell verfügbare Menge Sonnenlicht für Stromproduktion (Sonnenpflanzen)
Potenziell verfügbare Menge Sonnenlicht für Stromproduktion (Schattentolerante Pflanzen)

Überschüssiges Sonnenlicht mittels Solarmodulen in Strom umwandeln. Je schattentoleranter die Pflanzen, umso mehr Strom kann produziert werden.

Veränderung des Ertrags von Kulturpflanzen, abgeleitet aus der Synthese von Laub et al. (2022) und Dupraz (2023) für 25% und 50% Beschattung

Kultur	n	25% Verschattung (bei GCR 20%)	50% Verschattung bei GCR 45%)
Beeren	5	+15%	0%
Kern-Steinobst	7	+10%	0%
Fruchtgemüse	3	+5%	-5%
Blattgemüse	4	0%	-25%
C3 Getreide	10	-20%	-45%
Mais	10	-40%	-60%
Wurzelgemüse	2	-25%	-50%
Körnerleguminosen	14	-30%	-60%
Futtergras	11	0%	-25%
Gewichteter Durchschnitt (nach n)	66	-14%	-35%



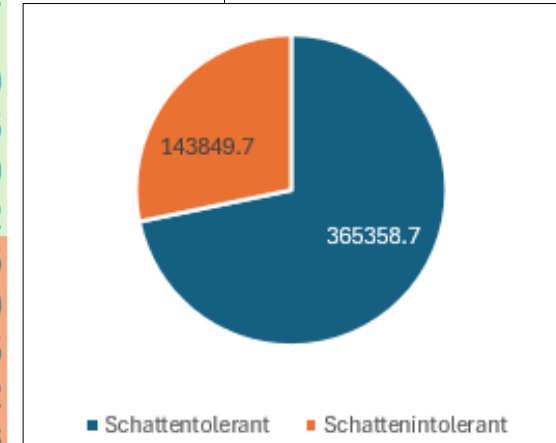
Verteilung des Potentials auf die Kulturrengruppen

Nutzung	Potenzial in TWh/a	Potenzial in TWh/WH	Winterstrom- anteil in %
Offene Ackerflächen	225.3	66.9	29.7
... <i>Kunstwiesen</i>	64.4	19.2	29.9
... <i>Winterweizen (ohne Futterweizen)</i>	42.6	12.6	29.6
... <i>Silo- und Grünmais</i>	26.4	7.8	29.6
... <i>Wintergerste</i>	15.4	4.6	29.6
... <i>Winterraps zur Speiseölgewinnung</i>	14.5	4.3	29.6
... <i>Körnermais</i>	10.6	3.1	29.5
... <i>Andere offene Ackerflächen</i>	51.4	15.2	29.6
Dauergrünland	84.6	23.7	28.0
... <i>Dauerwiesen (ohne Weiden)</i>	68.8	19.3	28.0
... <i>Weiden</i>	15.7	4.4	27.8
... <i>Übrige Grünflächen</i>	0.2	0.0	27.2
Dauerkultur	13.4	4.1	30.7
... <i>Reben</i>	5.8	1.2	31.6
... <i>Obstanlagen (Äpfel)</i>	3.1	0.9	30.1
... <i>Obstanlagen (Steinobst)</i>	1.3	0.4	29.4
... <i>Obstanlagen (Birnen)</i>	0.6	0.2	30.1
... <i>Andere Dauerkulturen</i>	2.3	0.6	30.1
Total	323.3	94.6	29.2

Theoretisches Potenzial der Agri-PV in der Schweiz unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien mit Aufteilung nach Bewirtschaftungsstatus und Kulturen (kursiv). Es sind die Kulturen mit dem höchsten Potenzial gezeigt, die restlichen wurden unter «Andere» zusammengefasst. WH = Winterhalbjahr vom Jan-Mär und Okt-Dez.

Übertragung auf die Schweizer Potentialfläche (grob)

KULTURGRUPPE	Kultur	Jahresertrag in TWh	Fläche in ha
Dauergrünland	Weiden	15.712	51382.2
Dauergrünland	Wiesen	68.822	224661
Dauerkultur	Obstanlagen (Birnen)	0.588	633.9
Dauerkultur	Obstanlagen (Steinobst)	1.276	1393.5
Dauerkultur	Obstanlagen (Äpfel)	3.073	3343.9
Offene Ackerfläche	Kunstwiesen (ohne Weiden)	64.359	83944.2
Offene Ackerfläche	Körnermais	10.576	13925.5
Offene Ackerfläche	Silo- und Grünmais	26.419	34850.9
Offene Ackerfläche	Wintergerste	15.42	20310.5
Offene Ackerfläche	Winterraps zur Speiseölgewinnung	14.512	18977.2
Offene Ackerfläche	Winterweizen (ohne Futterweizen)	42.585	55785.6
Schattentolerant		365358.7	72%
Schattenintolerant		143849.7	28%
Gesamt		509208.4	



Ackerbau: GCR 0.36



Dauergrünland: GCR 0.2



Dauerkulturen: GCR 0.39

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Vielen Dank an die Forschungsgruppe
Erneuerbare Energien am IUNR für
die spannende Zusammenarbeit und
dem Bundesamt für Energie für die
Finanzierung der Studie!**

sweet swiss energy research
for the energy transition