

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
 Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft


 Life Sciences und
 Facility Management
 IUNR Institut für Umwelt und
 Natürliche Ressourcen

Agri-Photovoltaikanlagen – Was ist ihr Entwicklungspotenzial in der Schweiz?

Resultate aus der Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft



Foto: Peter Schumacher, ZHAW

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
 Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft


 Life Sciences und
 Facility Management
 IUNR Institut für Umwelt und
 Natürliche Ressourcen

Agri-PV: was ist das überhaupt??

- Laut Definition der FAO gehört Agri-PV zu den *integrated food-energy-systems* (IFES). <http://www.fao.org/energy/bioenergy/ifes/en>
- Agro-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: www.insolight.ch

Agri-Photovoltaik (APV) – eine Idee mit Zukunft?

Kombinierte Nutzung von Landwirtschaftsflächen zur
Lebensmittelproduktion **und** Stromgewinnung



Foto: Antoine BOLCATO (RPC)



Foto: Fraunhofer ISE



Bilder: Goldbeck Solar



Foto: IMAGO / Rüdiger Wolk



Foto: Next2Sun

Agri-PV ist...

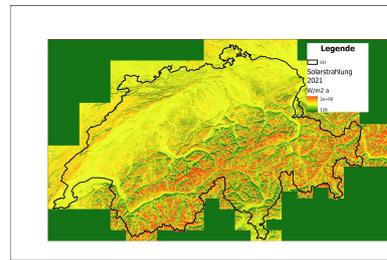
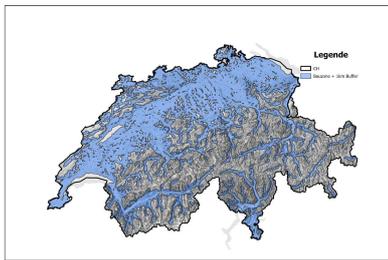
- ...in der Schweiz eine noch sehr junge Entwicklung
- Die raumplanungsrechtlichen Grundlagen sind erst seit 1. Juli 2022 «geregelt»
- Landwirtschaftsland ist stark geschützt – wenn Bauten auf Landwirtschaftsland, dann «standortgebunden» (Ställe, Schutz- und Hagelnetze...)
- PV-Anlagen können neu als «standortgebunden» gelten, wenn sie: (...) **in wenig empfindlichen Gebieten Vorteile für die landwirtschaftliche Produktion bewirken oder Versuchs- und Forschungszwecken dienen.**
- Auf Fruchtfolgeflächen muss die Agri-PV Anlage zu einem *höheren Naturalertrag im Pflanzenbau* führen.
- Der Begriff «wenig empfindlich» wird u.a. näher definiert als «*anschliessend an Bauzonen oder bestehende Infrastrukturen*» und generell «*möglichst geringe entgegenstehende Schutzanliegen*».

Wieviel Fläche steht in der CH theoretisch für die Agri-PV zur Verfügung? Ergebnisse Machbarkeitsstudie



Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

1. Schritt: angelehnt an die neue RPV: Landwirtschaftsfläche in Siedlungsnähe herausgefiltert (Ackerflächen, Dauerkulturen, Grünland)
2. Schritt: solare Einstrahlung auf diesen Flächen berechnet: mind. > 1000 kWh/m²
3. Schritt: Stromerzeugungspotential dreier Referenzanlagen berechnet (Für Ackerflächen, Dauerkulturen und Grünland). Flächenertrag der Referenzanlagen wurde auf die Einstrahlungsverhältnisse am Standort skaliert.
4. Flächen ausgeschlossen, die z.B: im BLN Gebieten liegen, Biodiversitätsförderflächen, Gewässerschutzzonen usw.
5. Potential sowohl in ha als auch in TWh berechnet
6. Berücksichtigung der Nähe zum Stromnetz (wie stark nimmt das Potential ab je nach Entfernung zum nächsten geeigneten Einspeisepunkt)



Berechnung des Stromerzeugungspotentials



Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

3 Anlagentypen mit unterschiedlicher Leistung, berechnet anhand eines Referenzstandortes in Kloten ZH. In einem weiteren Schritt wurde die Einstrahlungssituation am jeweiligen Standort berücksichtigt, indem der Flächenertrag der Referenzanlage auf die Einstrahlung am Standort skaliert wurde.



Ackerbau: Der Jahresertrag wird bei einem festen Anstellwinkel von 20° und einer Ausrichtung von 30° Südwest mit bifazialen Modulen simuliert.
Nennleistung: 612 kWp, spezifische Jahresleistung 1200 kWh/kWp,
Flächenertrag von 735 MWh/ha.

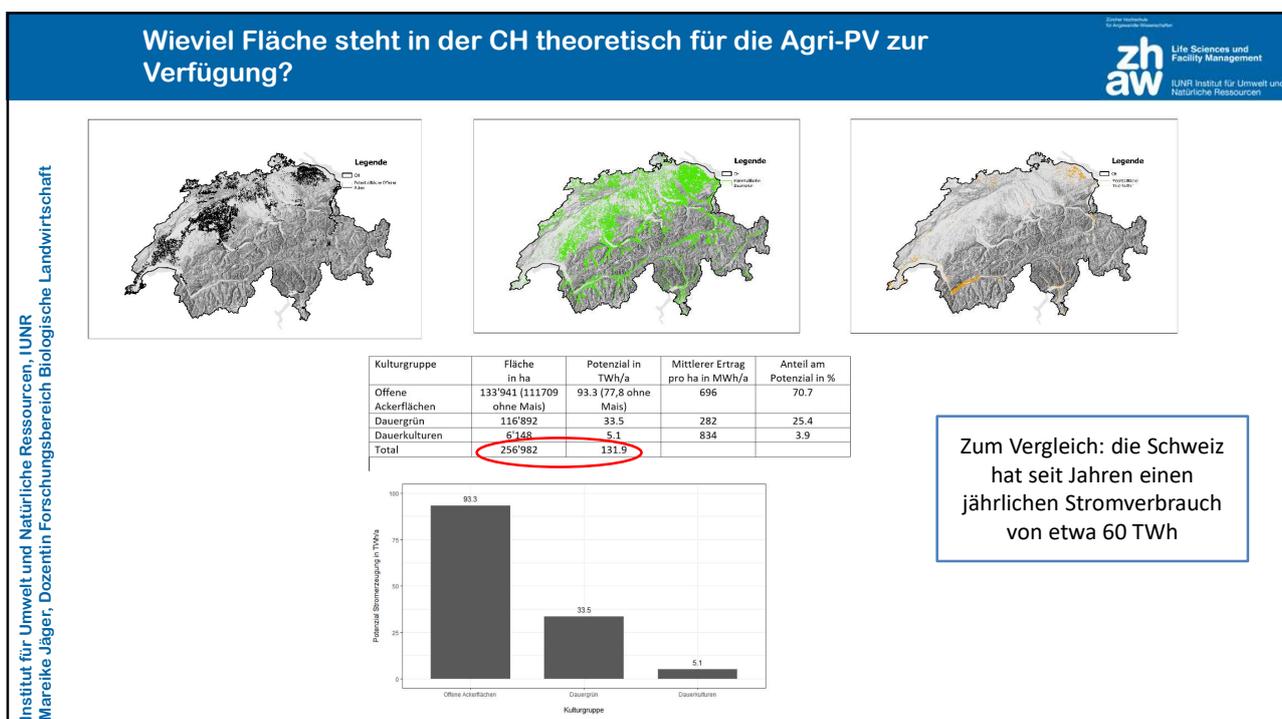
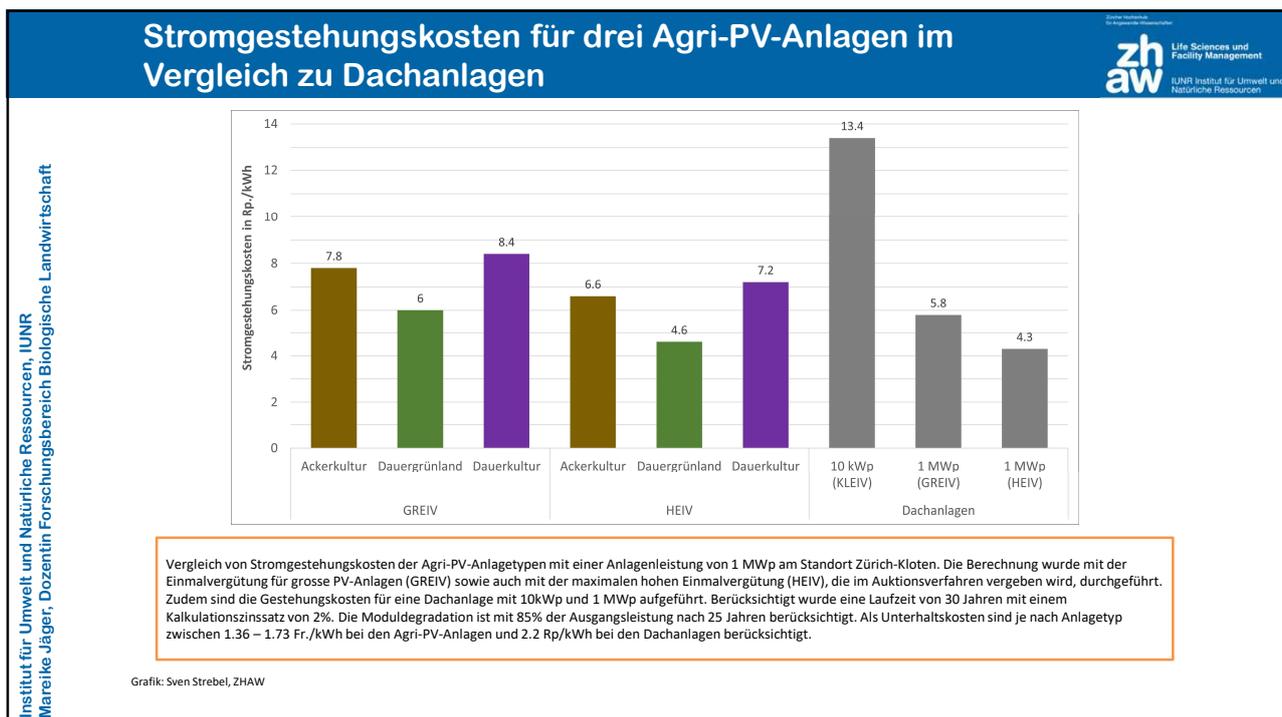


Dauergrünland: vertikale Module in Ost-West-Aufständigung, Nennleistung von 293 kWp/ha. Spezifische Jahresleistung: 1000 kWh/kWp,
Flächenertrag von 293 MWh/ha/a.



Dauerkulturen: Anlagen mit semitransparenten Modulen
Nennleistung: 737 kWp/ha. Spezifischen Jahresleistung von 1170 kWh/kWp, **Flächenertrag von 862 MWh/ha/a.**

Quelle: Machbarkeitsstudie Agro-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft, ZHAW 2022



zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Schlussfolgerung

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
 Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Wenn wir annehmen, dass der Strombedarf in der Schweiz bis 2050 von heute 60TWh/a auf 80TWh/a steigt und etwa 10% von diesem zukünftigen Bedarf aus der Agri-PV gedeckt werden müssten, hiesse dies konkret in Bezug auf den Flächenbedarf:

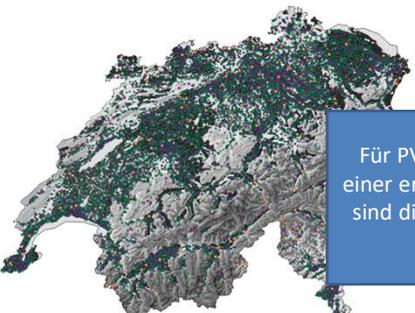
- 11'486 ha offene Ackerfläche (ca. 1,1% der LN) **oder**
- 27'914 ha Dauergrünland (ca. 2,6% der LN) **oder**
- 9'643 ha Dauerkulturen (0,9% der LN)

zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Berücksichtigung des Stromnetzes in der Potentialanalyse (in Zusammenarbeit mit der ETH)

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
 Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Transformatoren des Übertragungs- und Verteilnetzes (nach Gupta et al.)



Für PV-Freiflächenanlage in der Schweiz mit einer erwarteten Grösse von 1 MVA – 150 MVA sind die Mittel- und Hochspannungsnetze die geeigneten Anschlussebenen.

Quelle: Gupta et al., 2021, Applied Energy, Countrywide PV hosting capacity and energy storage requirements for distribution networks: The case of Switzerland, Darstellung M.Schwarz, ETH Zürich

Netzkarte Ebene 1 - 2



Netzkarte Ebene 4 - 6

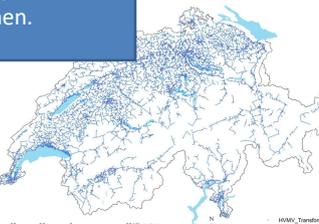
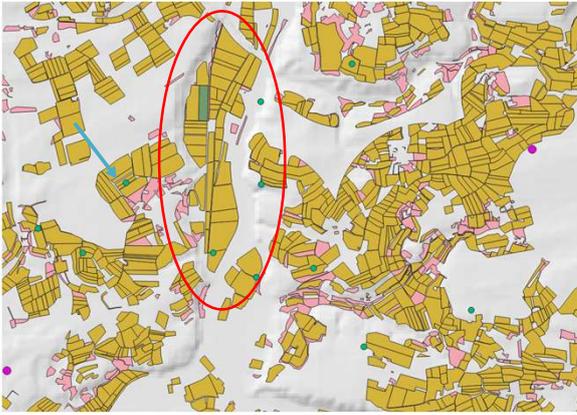


Abbildung 38: Karte des MV-Netzes, die auf der Grundlage der simulierten Daten von Gupta et al., 2021 erstellt wurde. Für eine bessere Lesbarkeit des Diagramms werden die Transformatorstationen der Ebene 4 nicht an den End- und Verbindungspunkten der Level-5-Linien dargestellt (Wang, 2022).

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Berücksichtigung des Netzes in der Potentialanalyse

zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen



- Schritt 1: Gruppierung aller direkt aneinander grenzenden Flächen des gleichen Agri-PV-Typs
- Schritt 2: Neuberechnung des Stromertrags
- Schritt 3: Zuordnen von Fläche zur Netzebene basierend auf der Grösse der PV-Anlage:
 - 1-50 MW: Mittelspannung*
 - > 50 MW: Hochspannung*
 - > 500 MW: Höchstspannung*
- Schritt 4: Zuordnung der Fläche zum nächsten Transformator in 4 Kategorien....

*Quelle: VSE, Empfehlung Netzanschluss für Energieerzeugungsanlagen

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Potential zur Stromerzeugung in TWh/ha mit Agri-PV unter Berücksichtigung der Stromnetze

zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

	am besten geeignet (< 100 m)	geeignet (100 - 300 m)	mässig geeignet (300 - 500 m)	weniger geeignet (500 - 1000 m)	Total
Dauerkulturen	0.71	0.41	0.24	0.31	1.66 (33%)
Dauergrünland	4.84	2.43	1.90	3.00	12.17 (36%)
offene Ackerfläche	25.02	13.03	11.20	16.85	66.1 (71%)

Die % Werte in Klammern beziehen sich auf das ursprüngliche Potential der räumlichen Analyse

Wang, 2022

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Agri-PV aus agronomischer Sicht

zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen



Agri-PV = statische Systeme mit heterogenen Verhältnissen (Licht, Wasser, Temperatur) - potentiell grosser Einfluss auf Pflanzenphysiologie

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Internationale Studien

zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

abhängig von

- Kultur
- Moduldichte
- Jahr

...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



Ertrag und Qualität



Geringerer Wasserverbrauch

Wasserverbrauch

Schutz vor Unwettern und Schadorganismen

Regenschutz – trockenere Blätter – weniger Blattkrankheiten

geringes Erosionsrisiko

Bestäuber nutzen Lebensräume



Umwelt und Biodiversität

Versuchsergebnisse ZHAW

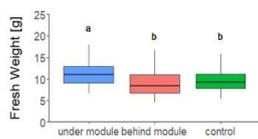
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Höhere Frischgewichte unter den Modulen, obwohl Kulturpflanze Schattenreaktion gezeigt hat

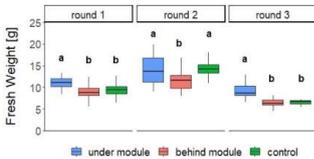


Versuch mit Nüsslisalat, 2021 und 2022 unter THEIA-Solarmodulen mit optischer Micro-Tracking-Technologie von Insolight®

(A)



(B)



Data source: ZHAW

Vergleich der Frischgewichte von Nüsslisalat zwischen den Behandlungen (unter dem Modul, hinter dem Modul und in der Kontrollfläche) (A) gemittelt über alle drei Anbauunden und (B) innerhalb jeder Runde bei der Ernte. Kleine Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an ($p < 0,05$). Die Boxplots reichen vom ersten Quartil (25 %) bis zum dritten Quartil (75 %), wobei die dicke Linie den Median darstellt. Die Whisker sind innerhalb des 1,5-fachen Abstands zwischen dem oberen und dem unteren Quartil gezeichnet.

15

Versuchsergebnisse ZHAW (Peter Schumacher, Dozent für Weinbau)

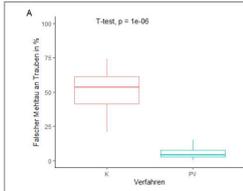
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

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

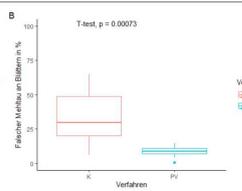


Messungen an Reben zwischen 2020 und 2022 in einem Agri-PV Rebberg in Walenstadt

A



B



Anova, p = 0.03

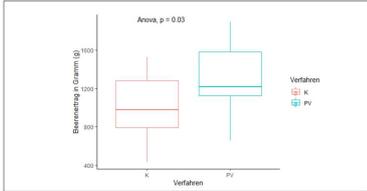


Abbildung 11: Falscher Mehltaubefall in Prozent an den Trauben (A) und Blättern (B) unter den Photovoltaikanlagen und den Kontrollflächen (Gräppi et al., 2021).

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

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

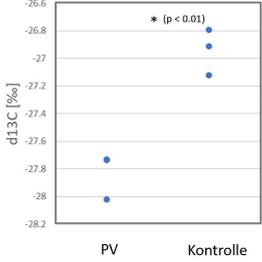
Versuchsergebnisse ZHAW (Peter Schumacher, Dozent für Weinbau)

zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

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

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





Group	d13C [‰]
PV	-27.8
	-28.0
Kontrolle	-27.3
	-27.5
	-26.8

Je negativer der Wert, desto weniger Wasserstress

17

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR
Mareike Jäger, Dozentin Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

zhaw
Life Sciences und Facility Management
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

mareike.jaeger@zhaw.ch



Quelle: remtec.energy

Besonderer Dank an die verschiedene Forschungsgruppen der ZHAW: Erneuerbare Energien, Geoinformatik, Hortikultur, Zentrum für öffentliches Wirtschaftsrecht und Marius Schwarz, ETH Zürich

18

Literatur

- 1) Trommsdorff u. a., „Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition“. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Okt. 2020. Zugegriffen: Okt. 05, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>
- 2) Agrisolar, „Best Practices Guidelines“. SolarPower Europe, Mai 2021. Zugegriffen: Okt. 05, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2021/05/1721-SPE-Agrisolar-Best-Practices-Guidelines-02-mr.pdf>
- 3) 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>
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) Laub, M., Pataczek, L., et al., Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems: a meta-analysis Agronomy for Sustainable Development volume 42, Article number: 51 (2022) <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00783-7>
- 9) Jäger, M., et al. Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft, 2022, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, <https://doi.org/10.21256/zhaw-25624>
- 10) Vaccaro, C., Jäger, M., 2022. Agrivoltaic pretrial : experiment report, Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. <https://doi.org/10.21256/zhaw-2427>