

# Grenzen und Potentiale kombinierter Nahrungsmittel- und Stromproduktion aus Schweizer Sicht

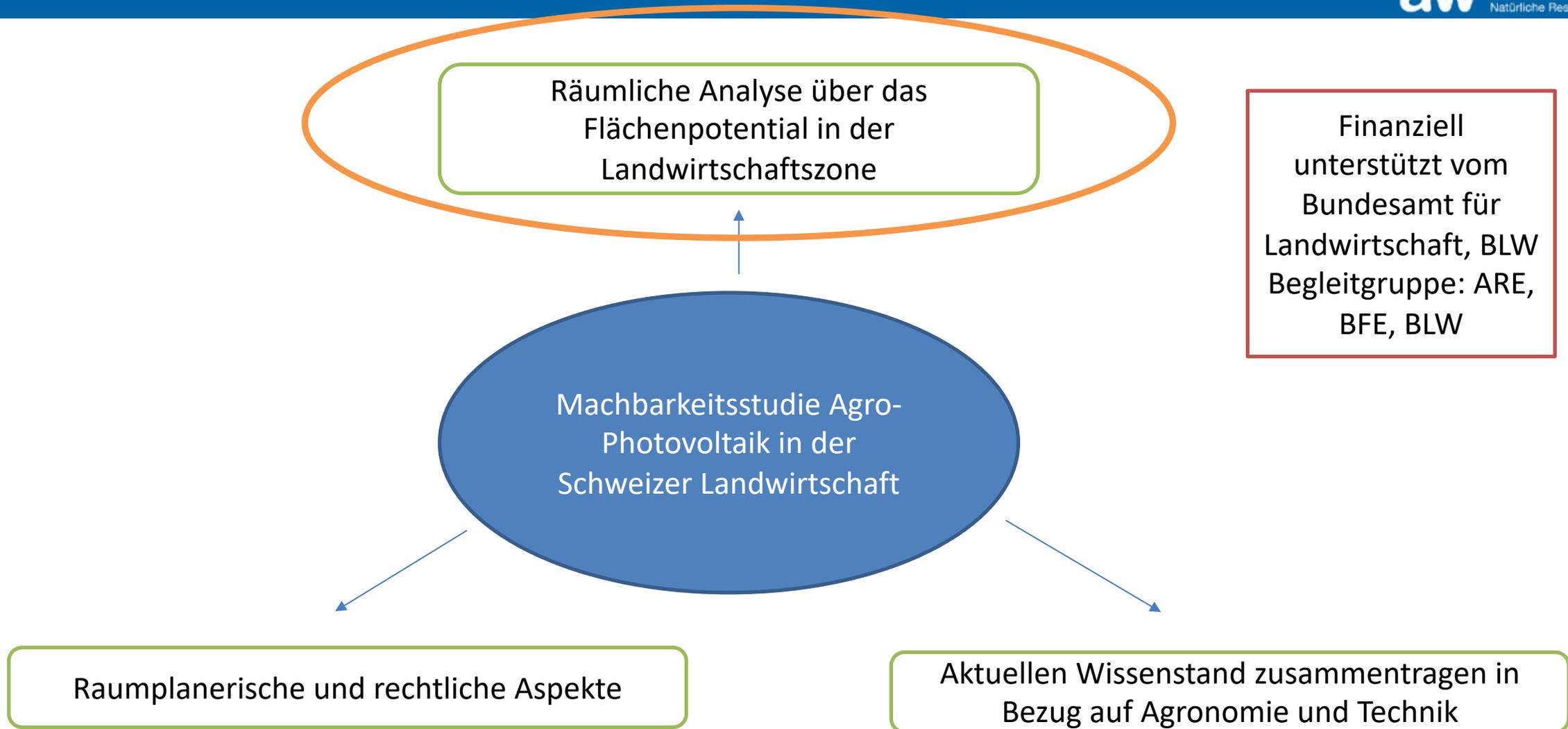
Resultate aus der Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der  
Schweizer Landwirtschaft



Foto: Peter Schumacher, ZHAW

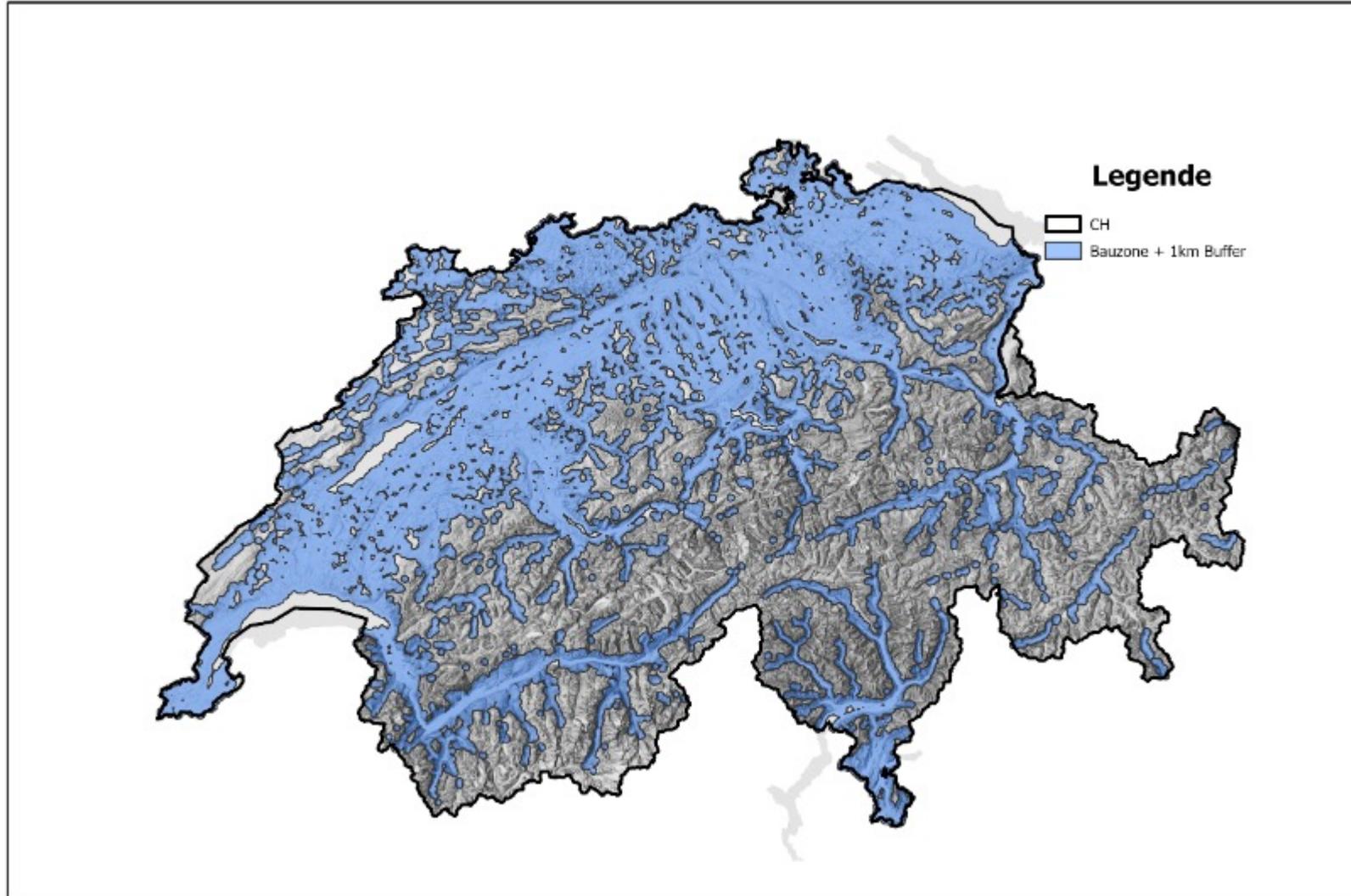
- ...in der Schweiz eine noch sehr junge Entwicklung
- Die raumplanungsrechtlichen Grundlagen sind erst seit 1. Juli 2022 «geregelt»
- Landwirtschaftsland ist stark geschützt – wenn Bauten auf Landwirtschaftsland, dann «standortgebunden» (Ställe, Schutz- und Hagelnetze...)
- PV-Anlagen können neu als «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*».
- Agri-PV Anlagen sind immer bewilligungspflichtig entweder auf Stufe Richtplan, Nutzungsplan oder Baubewilligung (in dieser Reihenfolge).

# Übersicht Machbarkeitsstudie



- Eine Einschätzung treffen, wieviel Fläche für die Agri-PV in der Schweiz zur Verfügung steht und mit welchem Stromerzeugungspotential.
- 2 Szenarien: geographisches Potential ohne Ausschlusskriterien (alle Flächen, die potentiell geeignet sind), Szenario B = geographisches Potential mit Ausschlusskriterien (alle Flächen, die potentiell geeignet sind *minus* Schutzgebiete von nationaler Bedeutung *minus* Gewässerschutzzonen *minus* Biodiversitätsförderflächen)
- Potential unter Berücksichtigung des Stromnetzes (in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich)
- Grundannahme: Agri-PV soll in «wenig empfindlichen» Gebieten stattfinden, das kann zum Beispiel «angrenzend» an die Bauzone sein (vgl. Erläuternder Bericht zur Revision der Raumplanungsverordnung April 2022)
- Verglichen wurden 3 Landnutzungssysteme und drei Anlagetypen mit unterschiedlichem Energieerzeugungspotential für: offene Ackerfläche, Dauergrünland und Dauerkulturen

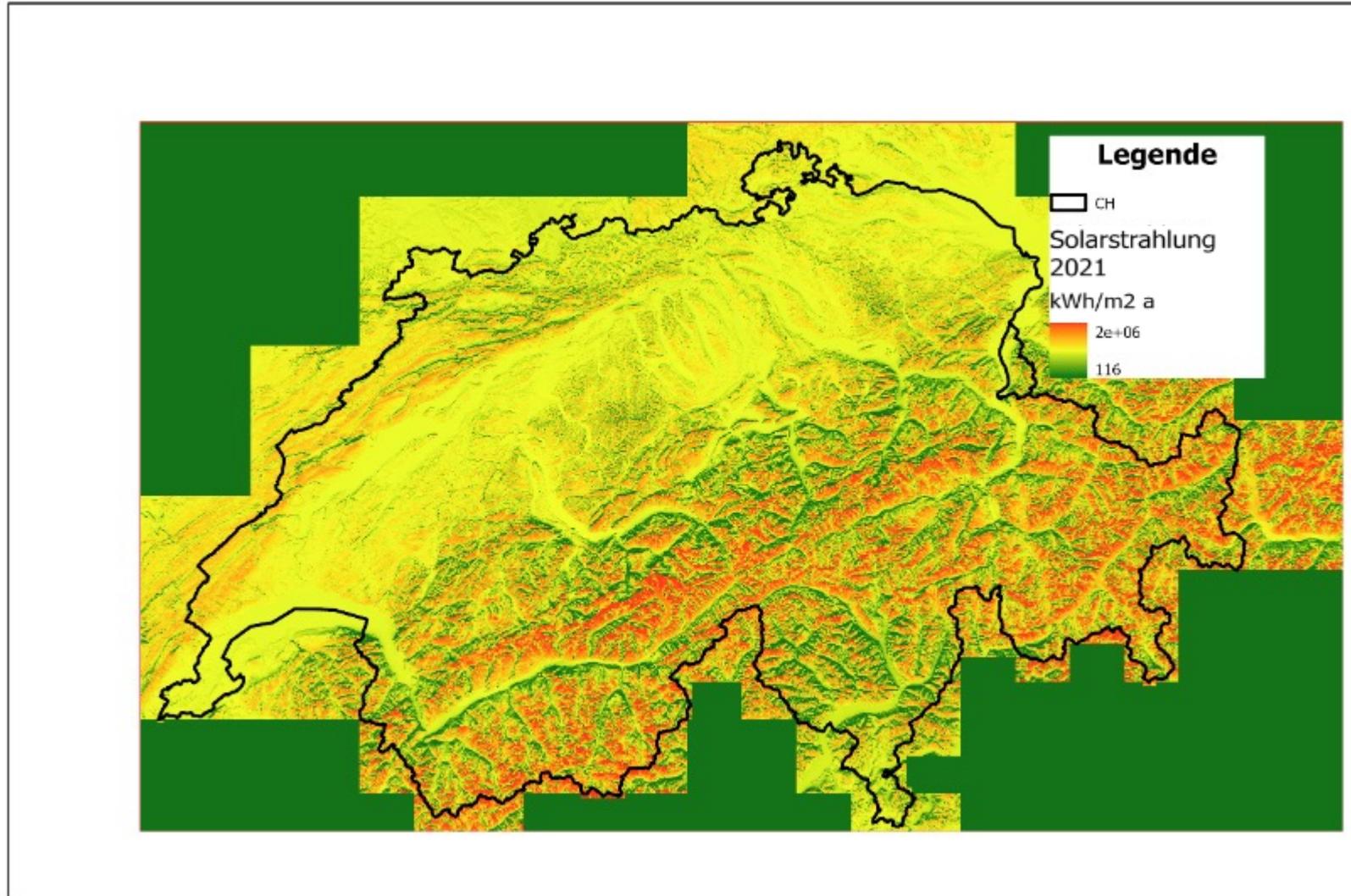
# 1. Schritt: Puffer rund um die Bauzonen der Schweiz



Homogene Daten der  
Bauzonen in der CH  
(Quelle. ARE) mit einem  
Puffer von 1km

Schwierigkeit: 1km Puffer  
ist zufällig gewählt,  
Bauzonen verändern sich  
dauernd und sind nicht  
für jedes Jahr homogen  
verfügbar

## 2. Schritt: solare Einstrahlung

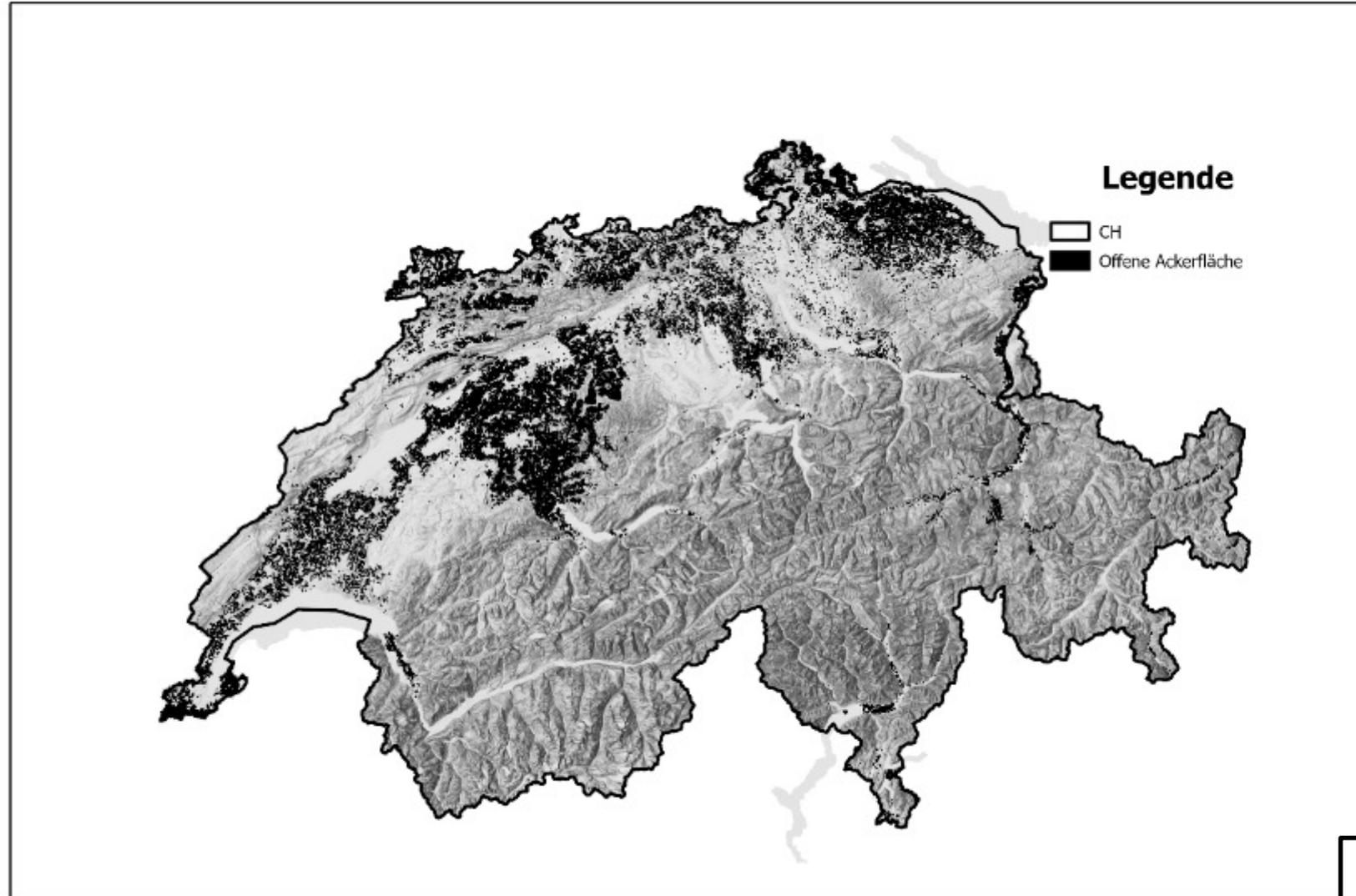


Solare Einstrahlung im Jahr 2021 errechnet anhand eines Höhenmodells mit einer räumlichen Auflösung von 25m. Grundlage für die Einstrahlungsverhältnisse der einzelnen Nutzungsflächen.

Quelle Höhenmodell:

<https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-solar-radiation-is-calculated.htm>

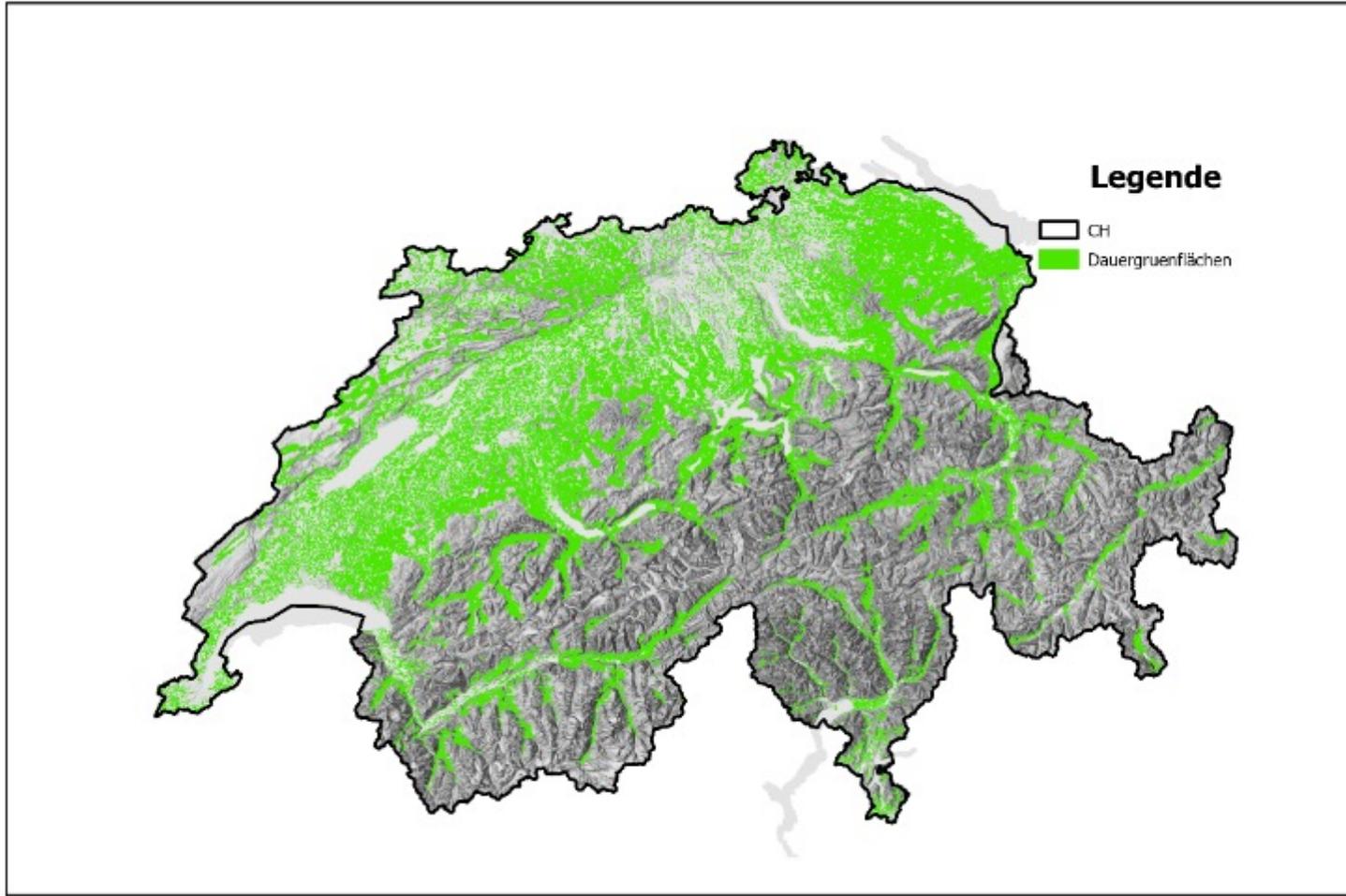
# Szenario A: geographisches Potential ohne Ausschlusskriterien



Alle offenen Ackerflächen in einem 1km Radius rund um die Bauzone. Kulturen: alle gängigen Ackerkulturen, sowie Kunstwiesen. Berechnung einmal mit und einmal ohne Maisfläche.

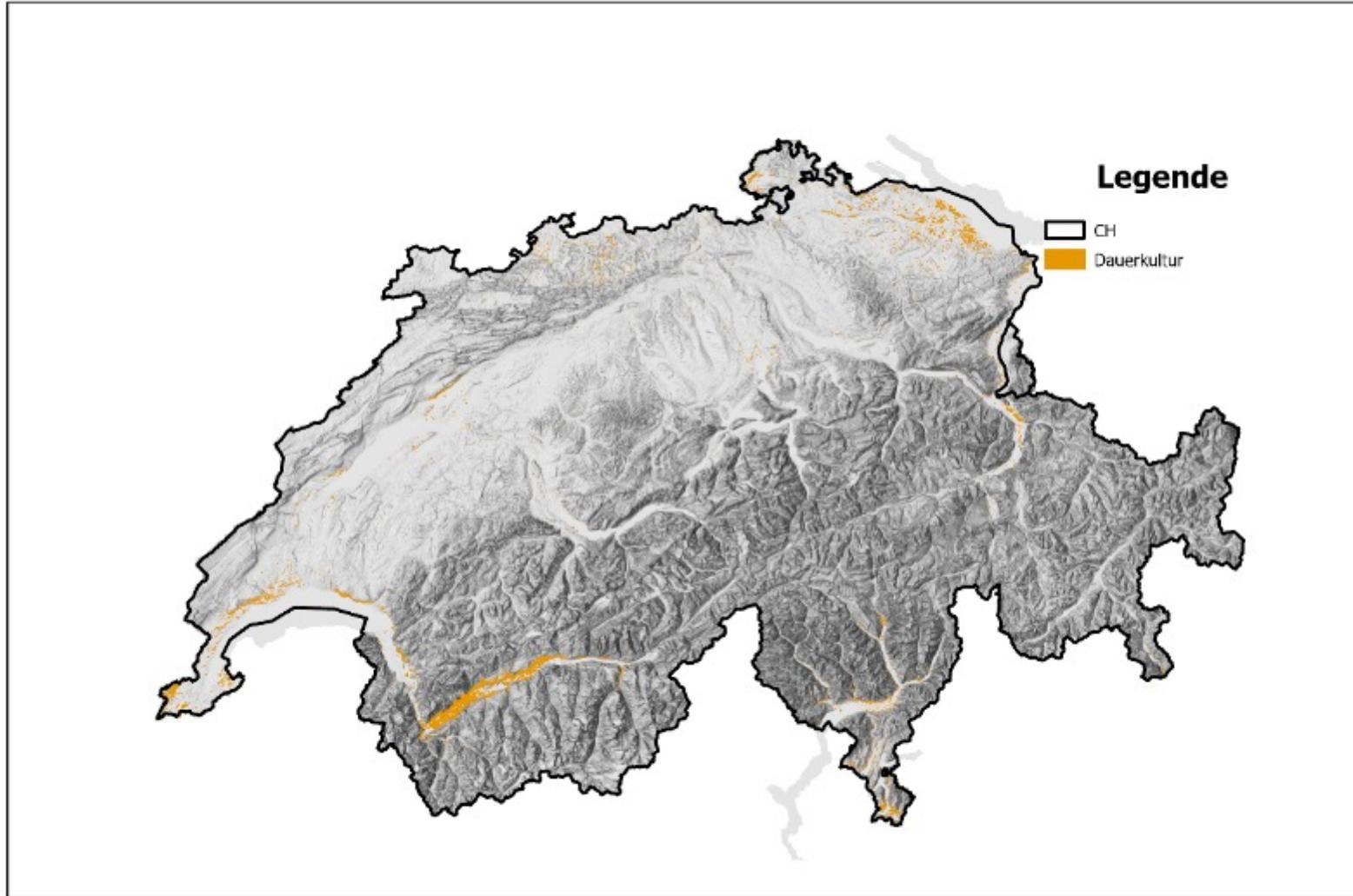
Datengrundlage: Minimale Geodatenmodelle  
Landwirtschaftliche Bewirtschaftung  
Bezugsjahr 2022, Bundesamt für Landwirtschaft

# Szenario A: geographisches Potential ohne Ausschlusskriterien



Alle  
Dauergrünlandflächen  
(Dauerwiesen und  
Weiden) in einem 1km  
Radius rund um die  
Bauzone

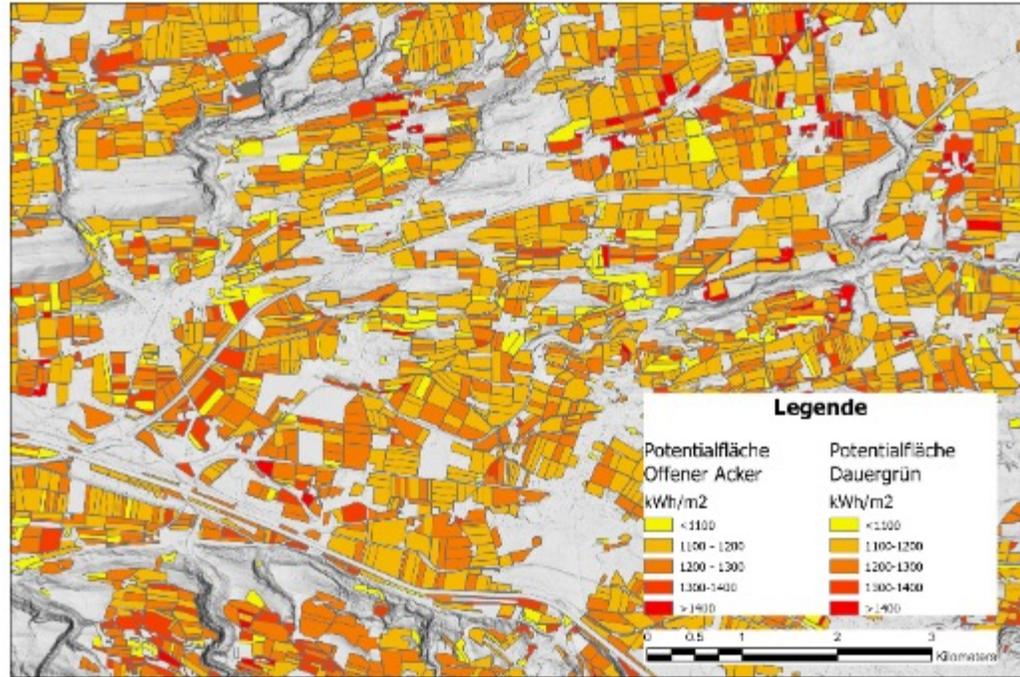
# Szenario A: geographisches Potential ohne Ausschlusskriterien



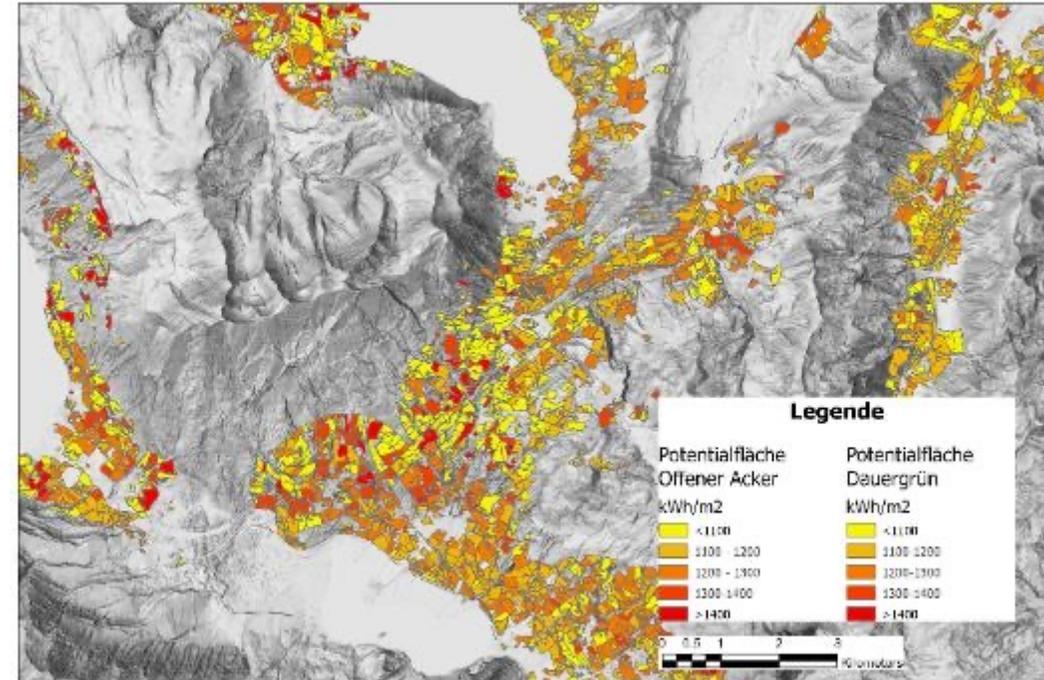
Alle Dauerkulturflächen  
(Rebberge, Obst- und  
Beerenanlagen,  
Gewächshäuser und  
Folientunnel) in einem  
1km Radius rund um die  
Bauzone

# Vergleich Potentialfläche Acker- und Grünland in zwei ausgewählten Gemeinden

## Gemeinde Märstetten, Thurgau



## Gemeindegebiet Steinen, Schwyz

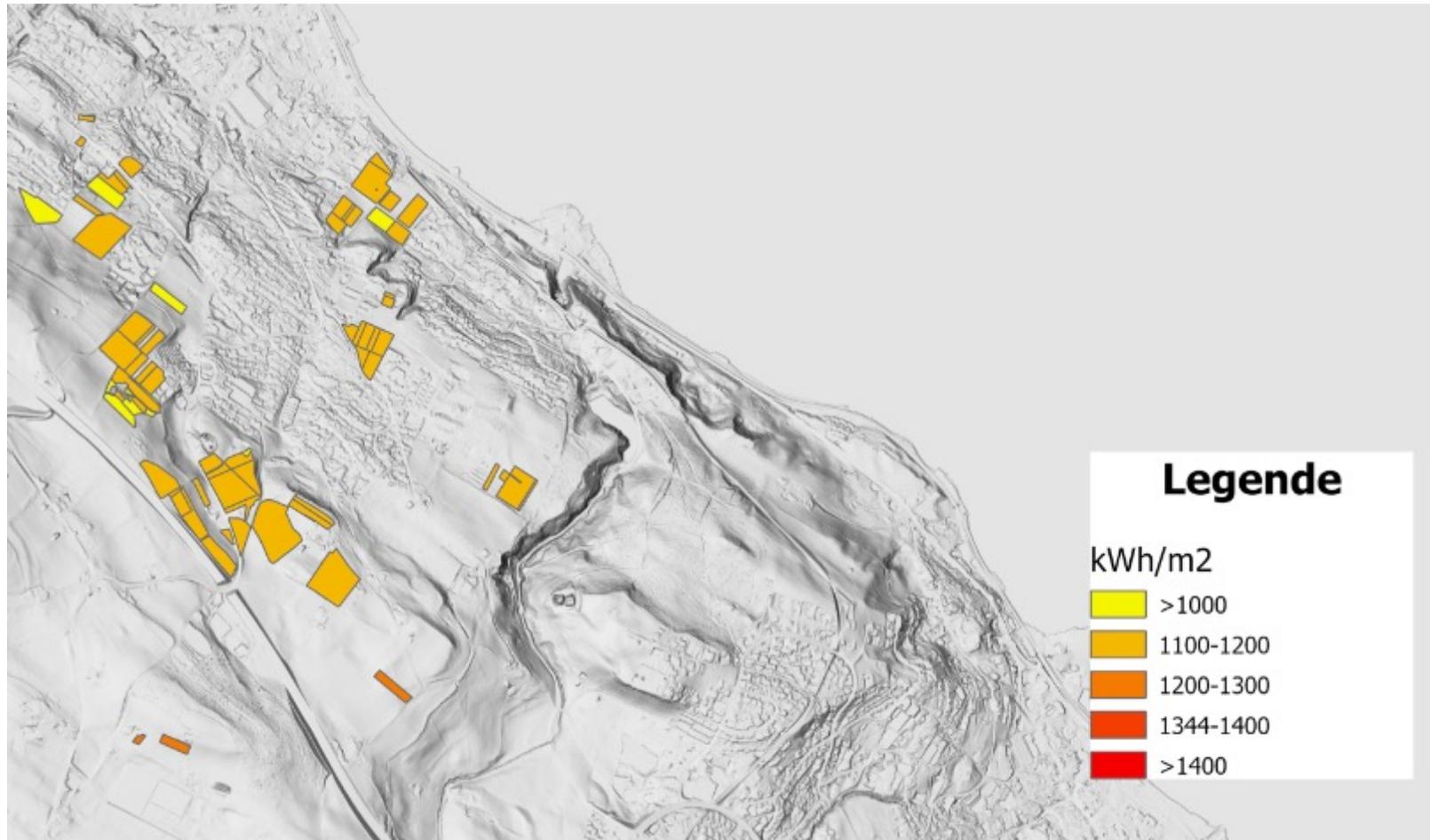


Abgebildet sind die Kategorien durchschnittliche Sonneneinstrahlung in einem Jahr (kWh/m2 a)

- <1100
- 1100-1200
- 1200-1300
- 1300-1400
- >1400

Für sowohl offenen Acker als auch Dauergrünflächen

## Nur Dauerkulturflächen, Wädenswil



## 3 Anlagentypen mit unterschiedlicher Leistung



**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.**

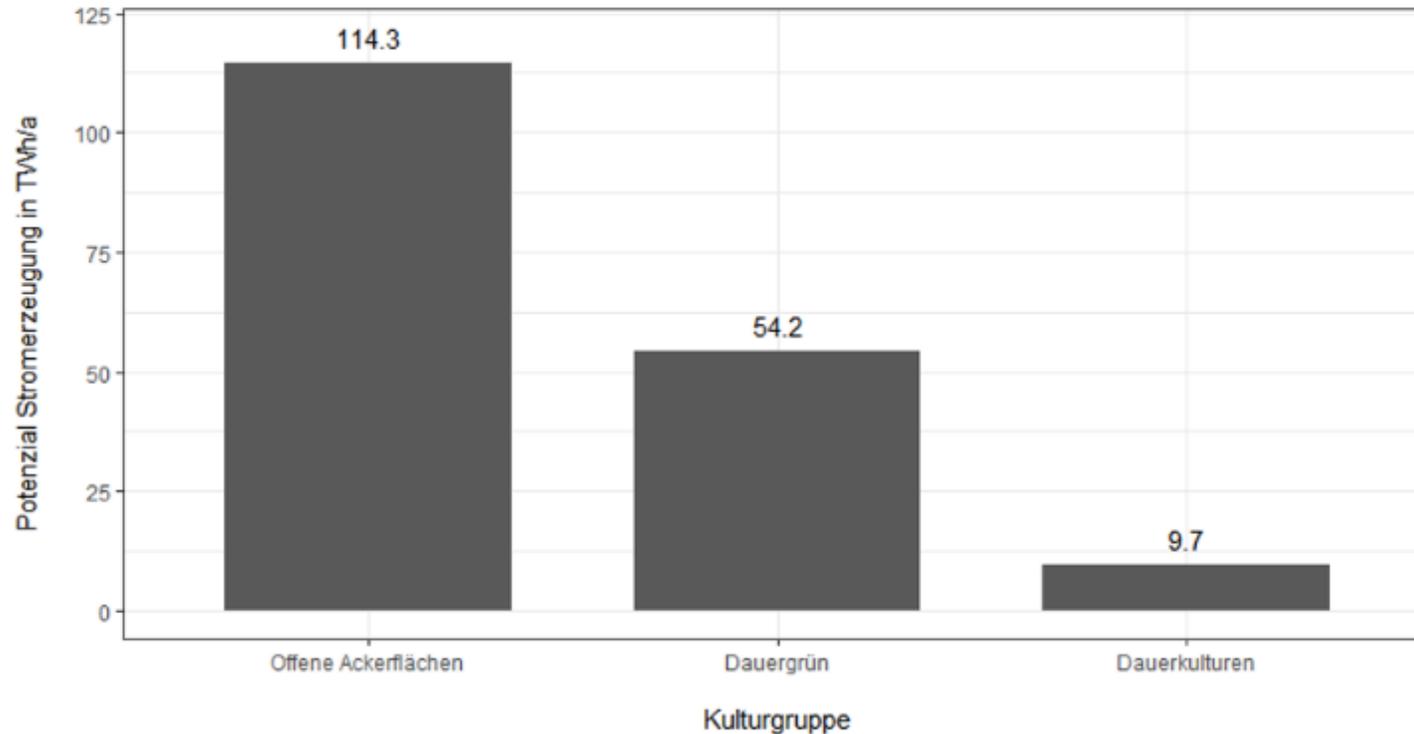


**Dauerkulturen:** Anlagen mit semitransparenten Modulen Nennleistung: 737 kWp/ha. Spezifischen Jahresleistung von 1170 kWh/kWp, **Flächenertrag von 862 MWh/ha/a.**

Die spezifischen Erträge, wie sie dann in der räumlichen Analyse weiterverwendet wurden, konnten anhand eines Referenzstandorts in Zürich Kloten berechnet werden. An diesem Standort beträgt die jährliche Globalstrahlung auf die horizontale Ebene 1163 kWh/m<sup>2</sup>. Die Ertragsdaten für die überdachte APV über der Dauerkultur basieren auf den Angaben zur Versuchsanlage über der Apfelplantage in Gelsdorf (D). Die Einstrahlungssituation am jeweiligen Standort wurde berücksichtigt, indem der Flächenertrag der Referenzanlage auf die Einstrahlung am Standort skaliert wurde.

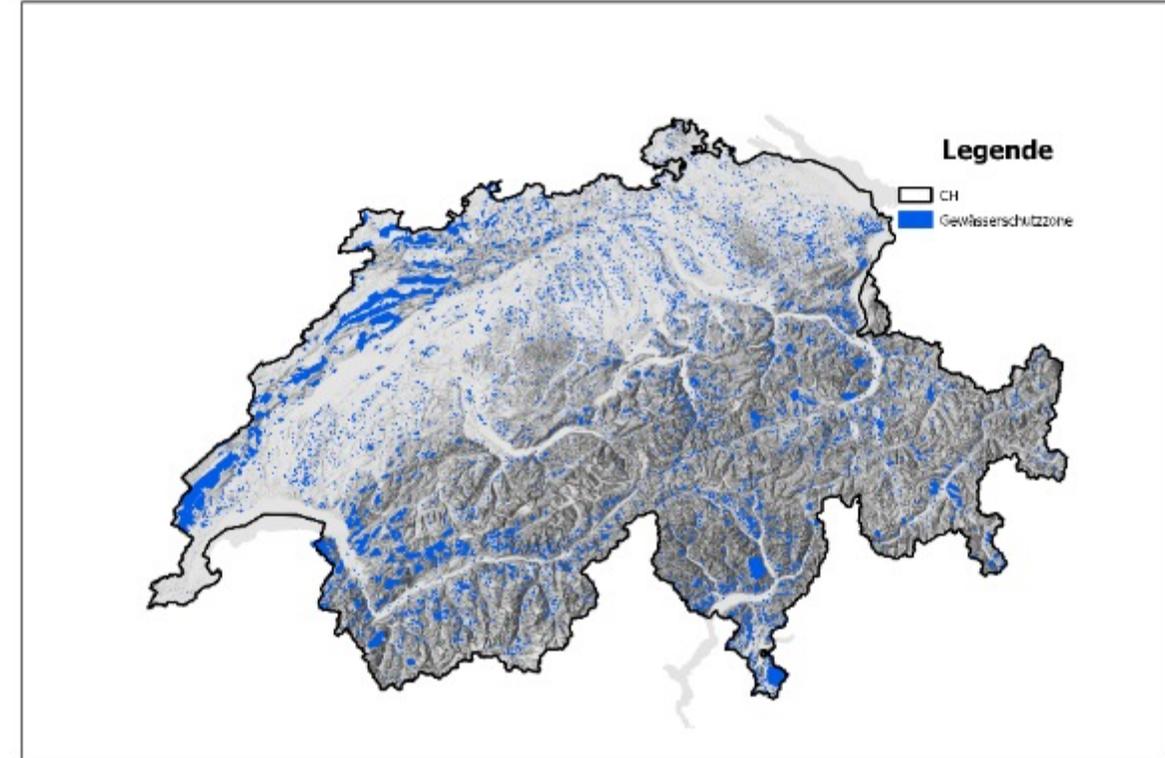
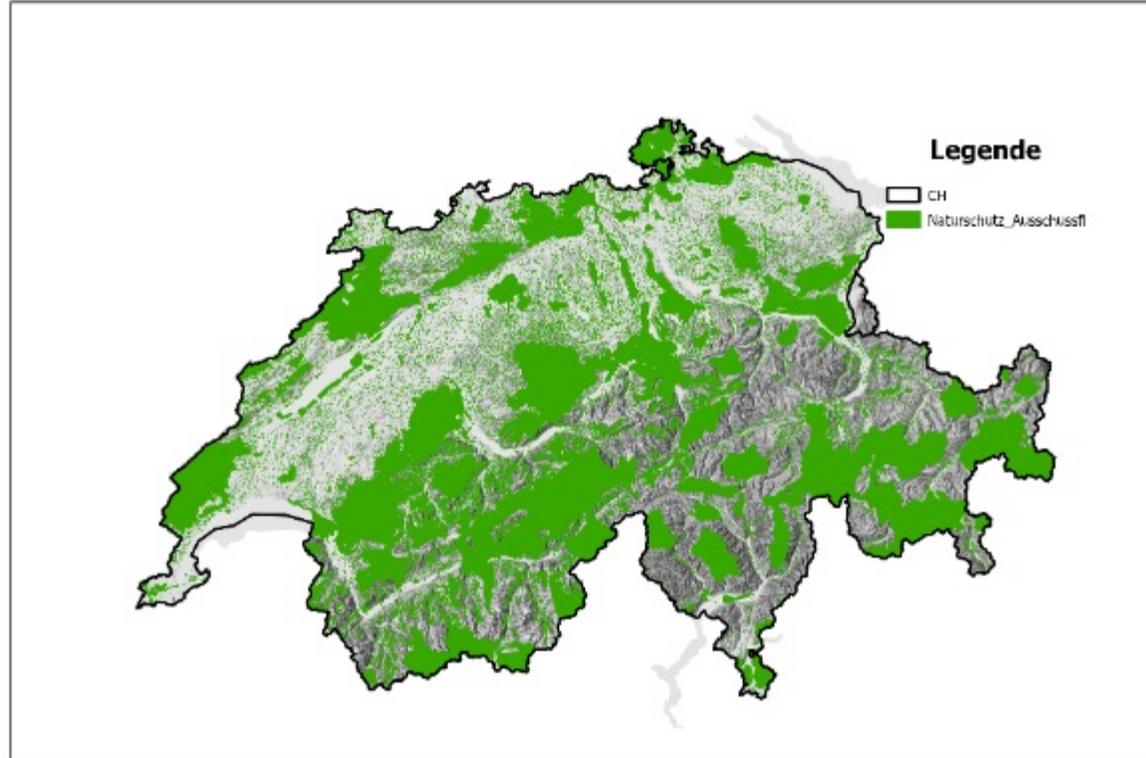
# Ergebnis geographisches Potential ohne Ausschlusskriterien

Kulturgruppe	Fläche in ha	Potenzial in TWh/a	Mittlerer Ertrag pro ha in MWh/a	Anteil am Potenzial in %
Offene Ackerflächen	165'652	114.3	689	64.1
Dauergrün	191'028	54.2	284	30.4
Dauerkulturen	11'731	9.7	829	5.5
Total	368'412	178.2		



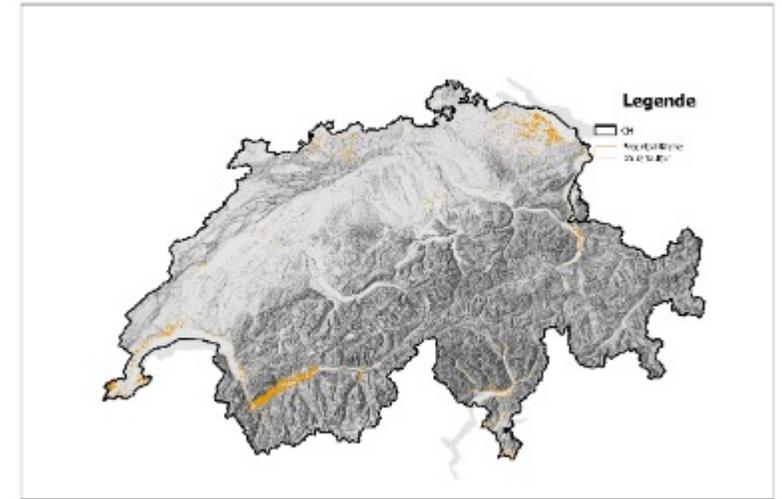
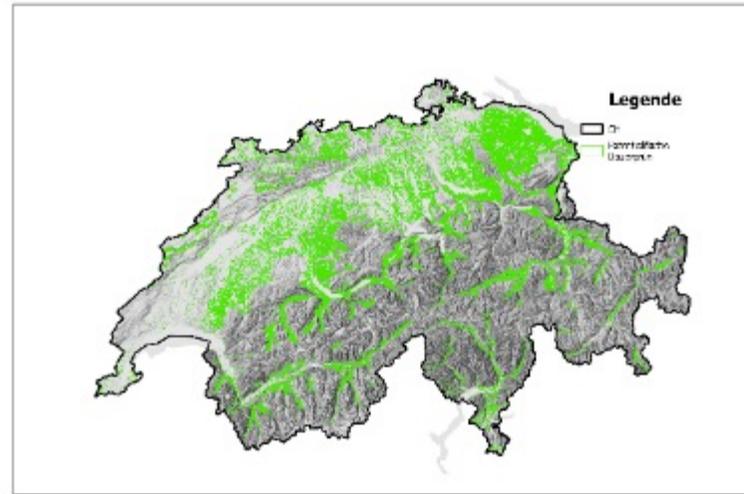
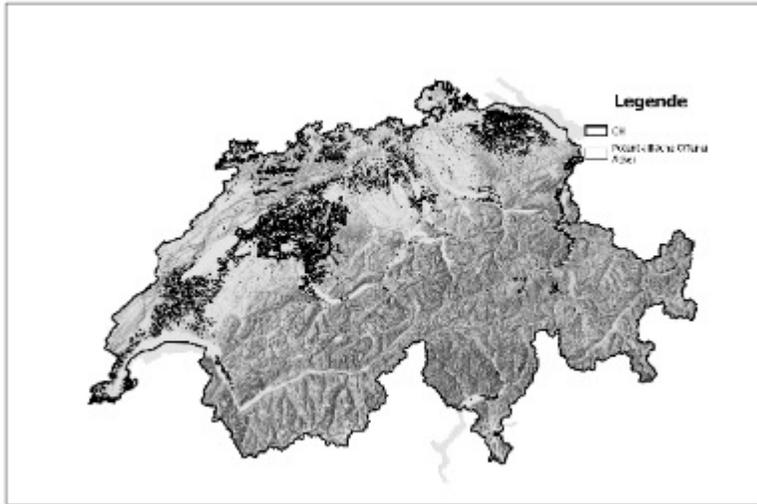
Derzeit liegt der jährliche Stromverbrauch in der CH bei etwa 60TWh

# Szenario B: geographisches Potential mit Ausschlusskriterien

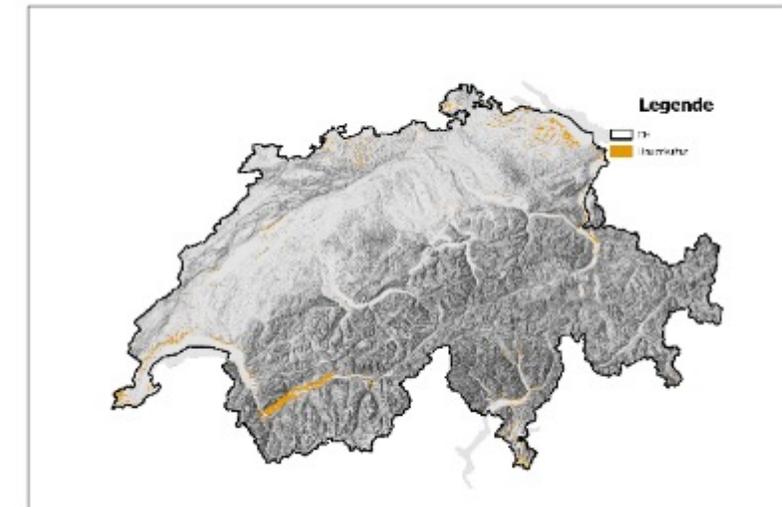
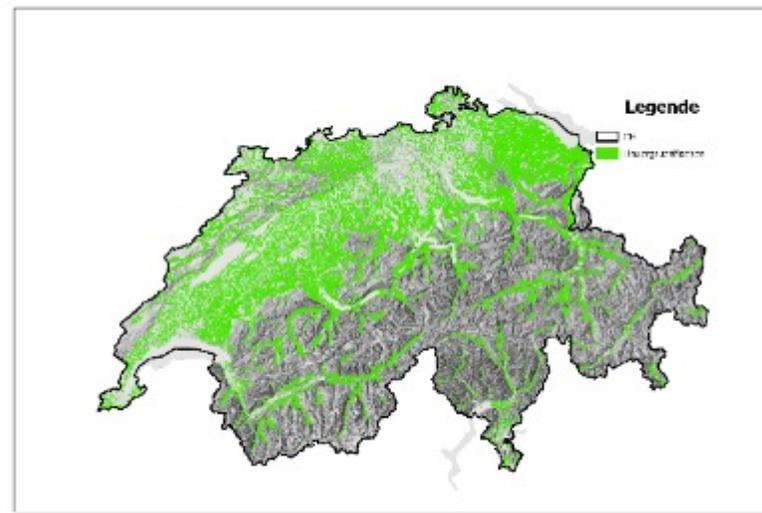
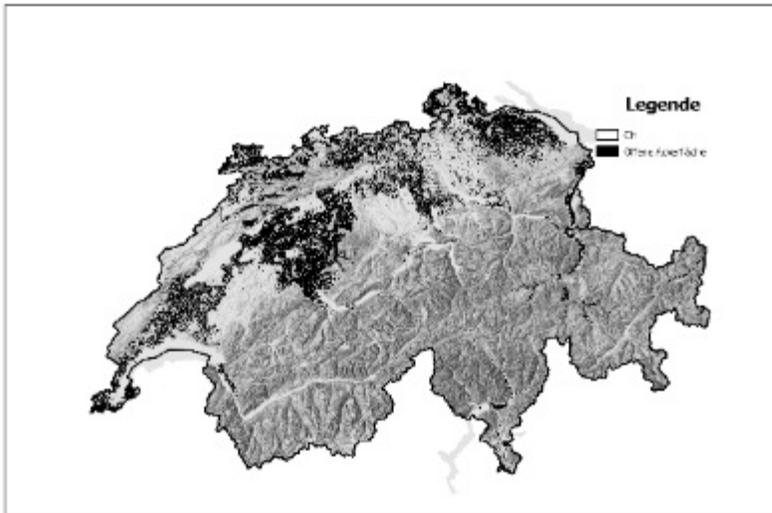


Ausschlusskriterien: Schutzgebiete von nationaler Bedeutung (BLN, RAMSAR, SMARGD, Naturpärke, Moore, Amphibienschutzgebiete usw., Gewässerschutzzonen S1-S3, sämtliche Biodiversitätsförderflächen (Dauergrünland, Ackerbau und Dauerkulturen)

# Flächenverhältnisse Szenario B (oben) und Szenario A (unten)



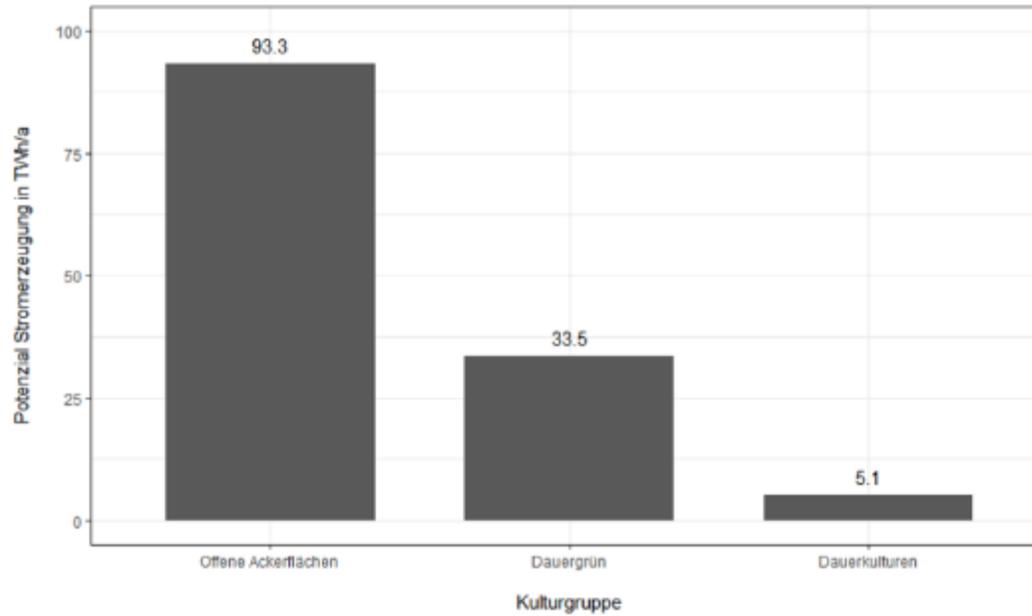
ur  
eic

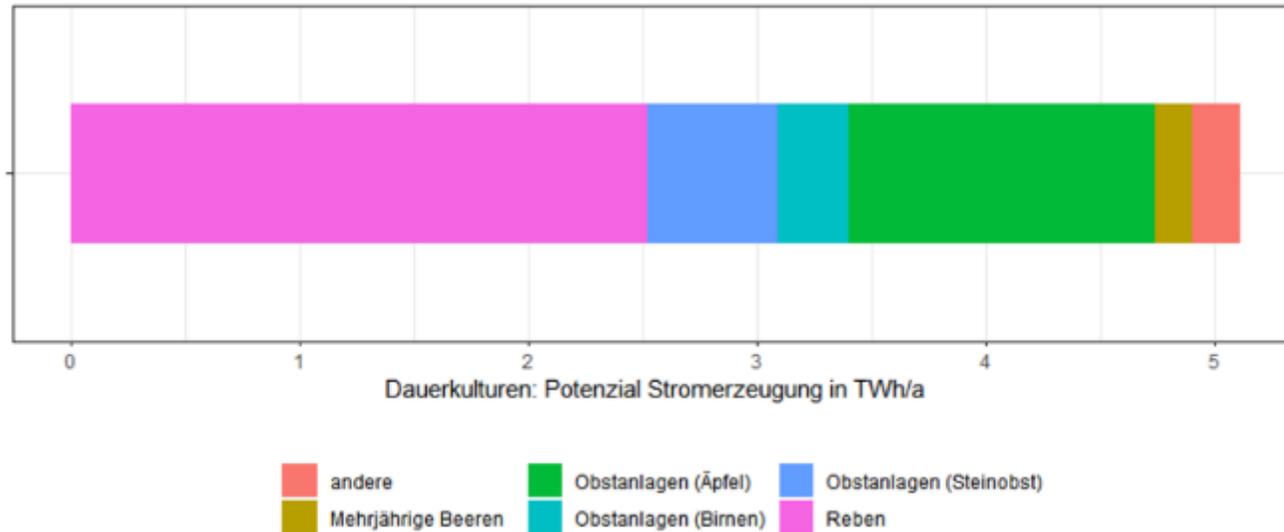


In  
M

# Vergleich des theoretischen Potenzials mit dem Potenzial nach Ausschlusskriterien

Kulturgruppe	Fläche in ha	Potenzial in TWh/a	Mittlerer Ertrag pro ha in MWh/a	Anteil am Potenzial in %
Offene Ackerflächen	133'941 (111709 ohne Mais)	93.3 (77,8 ohne Mais)	696	70.7
Dauergrün	116'892	33.5	282	25.4
Dauerkulturen	6'148	5.1	834	3.9
Total	256'982	131.9		





Achtung: Nach unseren Berechnungen (Szenario B) sind nur ca. 3000 ha Obst- und Beerenanlage für die Agri-PV geeignet. Nu ca. 50% der Obst- und Beerenanlagen sind in der CH gedeckt. Davon wird ca. ein 15tel jährlich remontiert.

- Die Frage, wieviel Agri-PV in der Schweiz tatsächlich umgesetzt wird hängt davon ab, wieviel Fläche wirtschaftlich erschlossen werden kann.
- Dabei steht die Nähe zu geeigneten Anschlusspunkten am Stromnetz unweigerlich im Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit von Agri-PV.
- In Zusammenarbeit mit der ETH wurden in eine in einem weiteren Schritt die Nähe zum Stromnetz innerhalb der Potentialanalyse berücksichtigt

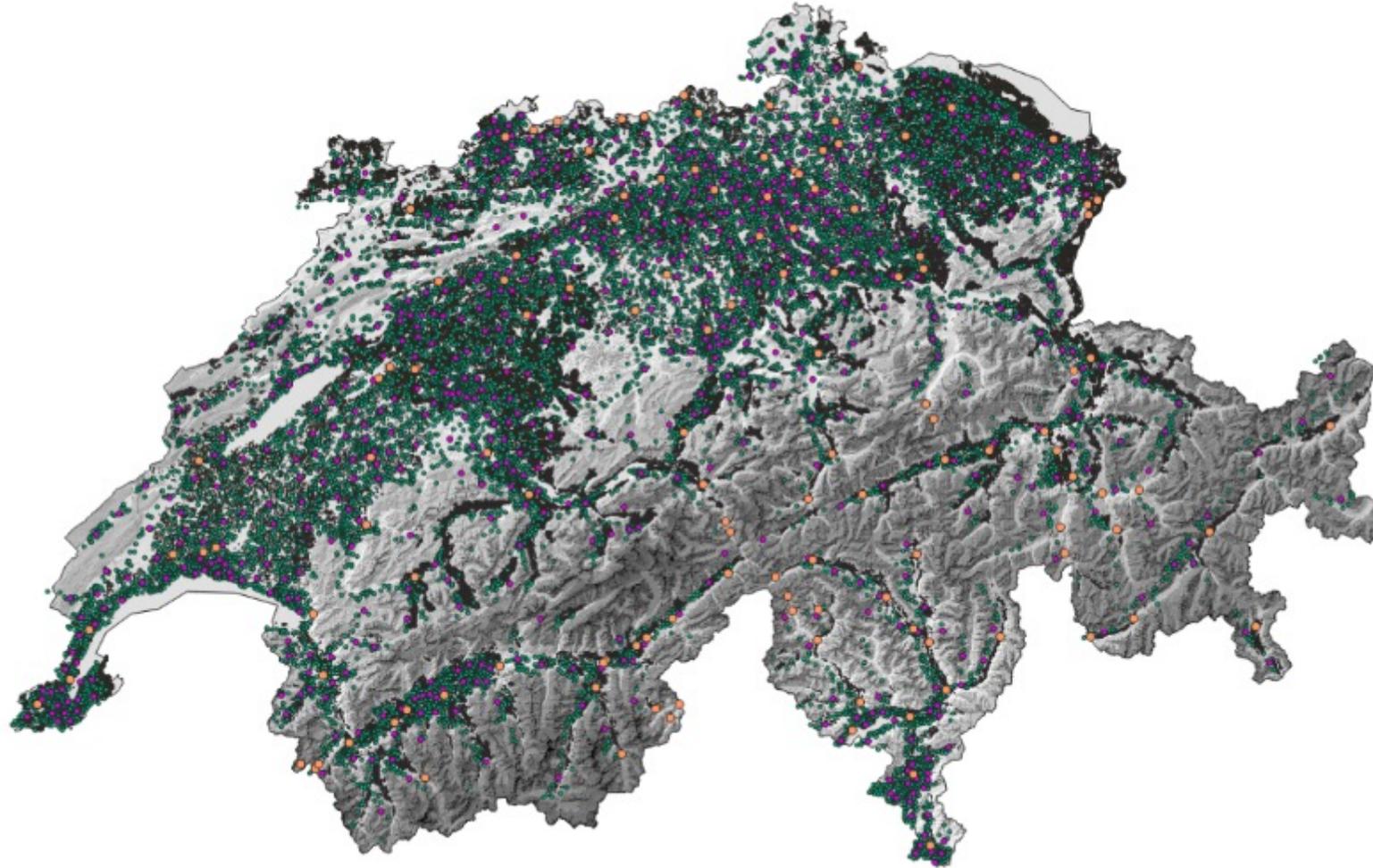
- 1-50 MW: Mittelspannung\*
- > 50 MW: Hochspannung\*
- > 500 MW: Höchstspannung

Für PV-Freiflächenanlage in der Schweiz mit einer erwarteten Grösse von 1 MVA – 150 MVA sind die Mittel- und seltener die Hochspannungsnetze die geeigneten Anschlussebenen. Problem: die Netzdaten sind vertraulich und nicht öffentlich verfügbar. Nur die Daten der Netzebene 1 und 2 sind öffentlich.

Tabelle 4: Überblick über die Netzebenen im Schweizer Stromnetz. Quelle: [Swissgrid. Grid-Levels](#)

Netzebene	Beschreibung
1	Höchstspannungsebene: 380 KV oder 220 KV
2	Transformatorebene
3	Hochspannungsebene: 36 KV bis 150 KV
4	Transformatorebene
5	Mittelspannungsebene: 1 KV bis 36 KV
6	Transformatorebene
7	Niederspannungsebene: unter 1 KV

# Transformatoren des Übertragungs- und Verteilnetzes



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

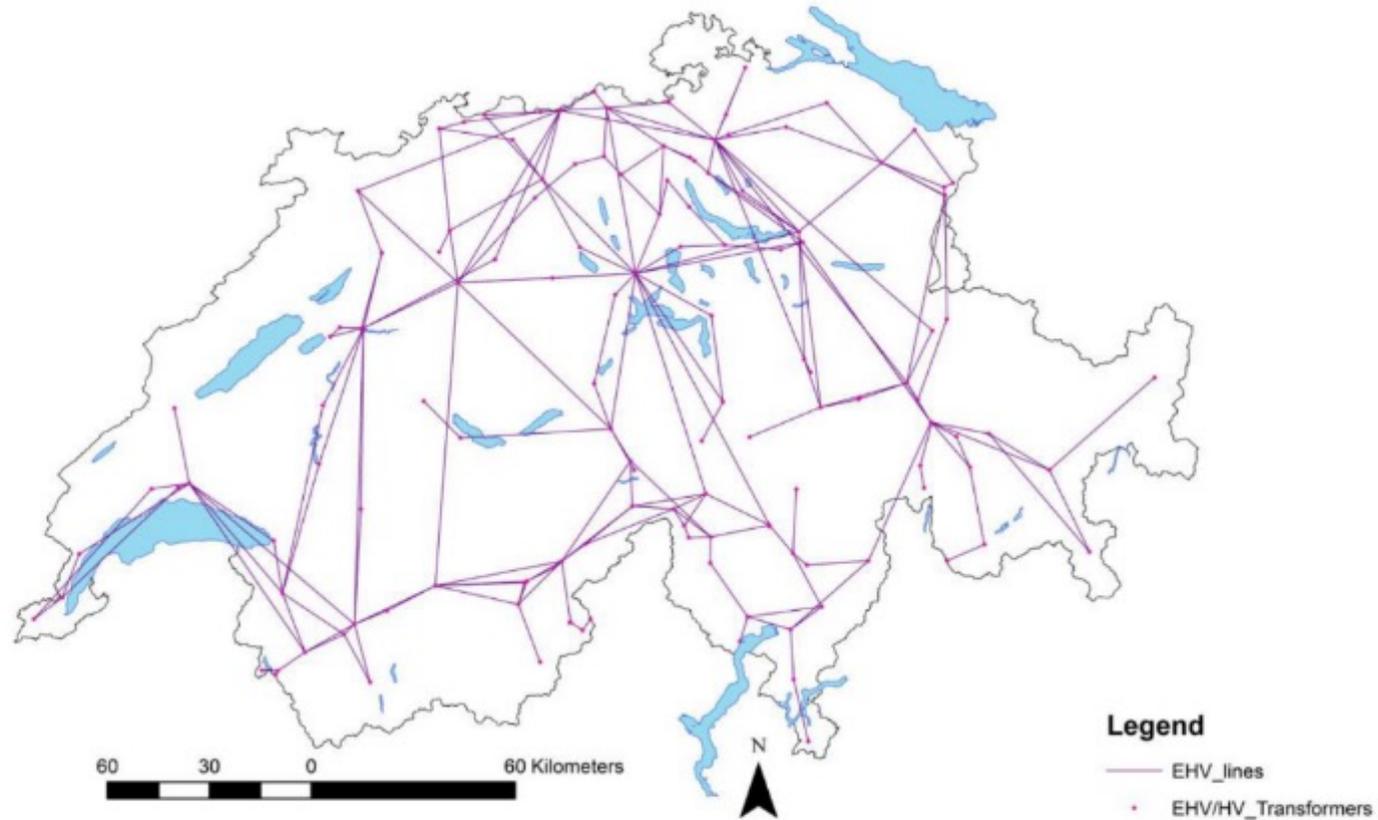


Abbildung 37: Karte des EHV-Netzes. Obwohl diese Netzebene auch Leitungen aus dem Ausland enthält, sind in dieser Karte nur inländische Leitungen enthalten (Wang, 2022).

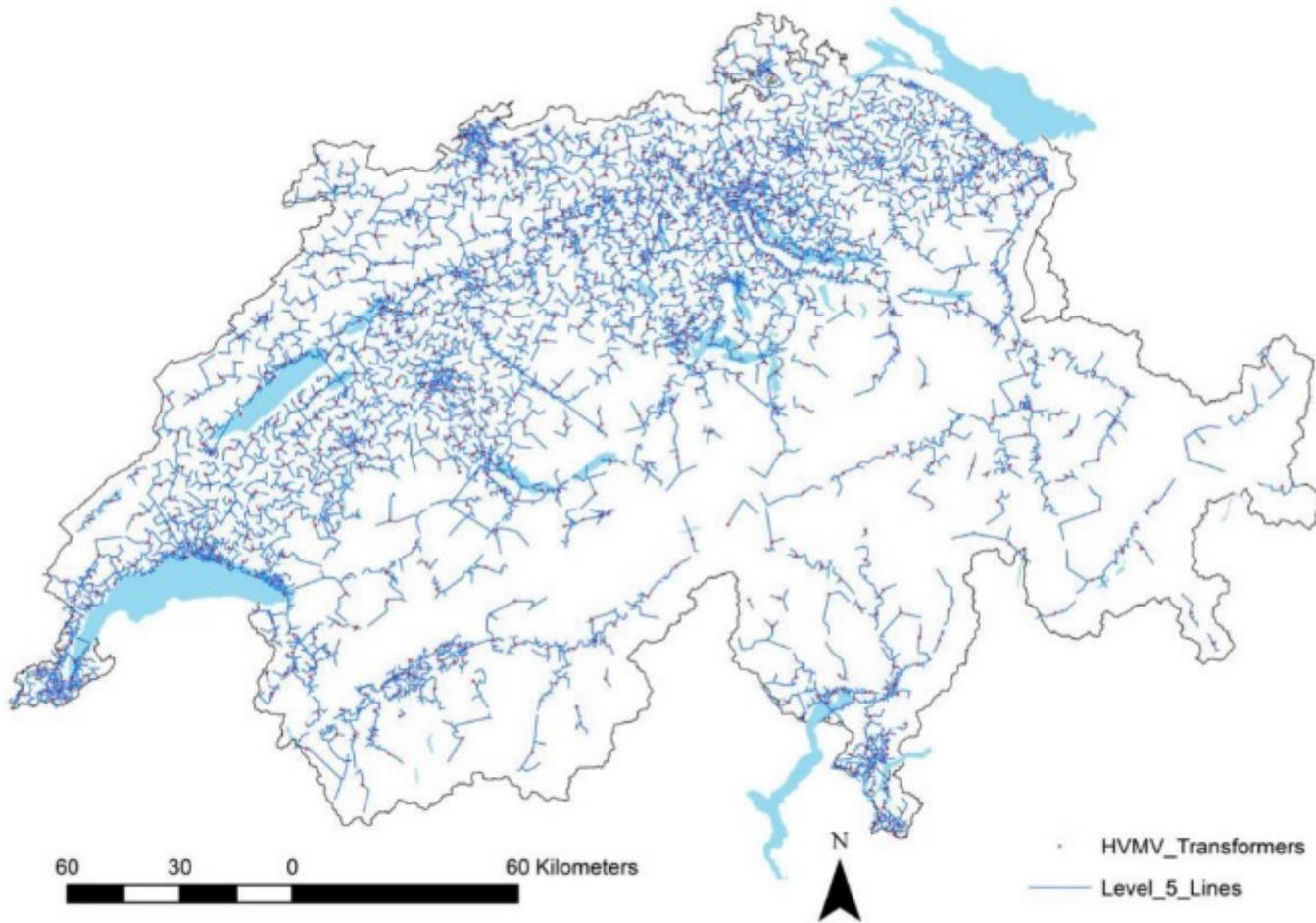


Abbildung 38: Karte des MV-Netzes, die auf der Grundlage der simulierten Daten von (Gupta et al., 2021) erstellt wurde. Für eine bessere Lesbarkeit des Diagramms werden die Transformatoren der Ebene 6 nicht an den End- und Verbindungspunkten der Level-5-Linien dargestellt (Wang, 2022).



- Schritt 1: Gruppierung aller direkt aneinander grenzenden Flächen des gleichen Agri-PV-Typs = grössere zusammenhängende Fläche, mehr Leistung
- Schritt 2: Neuberechnung des Stromertrags für diese neue Gesamtfläche auf der Grundlage der gewichteten jährlichen Sonneneinstrahlung.
- 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 innerhalb einer bestimmten Distanz (siehe blauer Pfeil), d.h. schlussendlich werden die Flächen nach der Nähe zu einem geeigneten Netzanschlusspunkt in 4 Kategorien eingeteilt.

\*Quelle: VSE, Empfehlung Netzanschluss für  
Energieerzeugungsanlagen

# Potential zur Stromerzeugung in ha und TWh/ha mit Agri-PV unter Berücksichtigung der Netznähe

Tabelle 5: Fläche in ha für die verschiedenen Agri-PV Typen

	am besten geeignet (< 100 m)	geeignet (100 - 300 m)	mässig geeignet (300 - 500 m)	weniger geeignet (500 - 1000 m)	Total
Dauerkulturen	856 (14%)	491 (8%)	290 (5%)	369 (6%)	2'005 (32%)
Dauergrünland	16'714 (14%)	8'374 (7%)	6'566 (6%)	10'334 (9%)	41'988 (36%)
offene Ackerfläche	36'926 (27%)	18'704 (14%)	16'082 (12%)	21'185 (18%)	94'896 (71%)

Tabelle 6: Potential zur Stromerzeugung in TWh/a mit Agri-PV unter Berücksichtigung der Stromnetze

	am besten geeignet (< 100 m)	geeignet (100 - 300 m)	mässig geeignet (300 - 500 m)	weniger geeignet (500 - 1000 m)	Total
Dauerkulturen	0.71 (14%)	0.41 (8%)	0.24 (5%)	0.31 (6%)	1.66 (33%)
Dauergrünland	4.84 (14%)	2.43 (7%)	1.90 (6%)	3.00 (9%)	12.17 (36%)
offene Ackerfläche	25.02 (27%)	13.03 (14%)	11.20 (12%)	16.85 (18%)	66.1 (71%)

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)

Unter Berücksichtigung der Nähe zum Stromnetz und der geringsten Entfernung zum nächsten Einspeisepunkt (<100m) liesse sich diese Zielvorgabe nur mit der Fruchtfolgefläche erreichen. Oder selbstverständlich mit einer Kombination verschiedener Landnutzungstypen 😊

- Kein faktischer Ausschluss von bestimmten Flächennutzungen für die Agri-PV. Insbesondere auf Fruchtfolgeflächen sollte die Wirkung dieser Anlagen auf bereits degradierten Flächen oder Gebieten, die stark vom Klimawandel betroffen sind, rasch erforscht werden.
- Überprüfen, ob Biodiversitätsförderflächen im Ackerbau, aber auch in anderen Flächennutzungstypen für APV Systeme wirklich ausgeschlossen werden müssen, insbesondere, wenn es sich um die Ansaat von bestimmten Mischungen, z.B. zur Nützlingsförderung handelt. Hier ist allerdings eine sehr differenzierte Betrachtung einzelner BFF-Typen nötig.
- Insgesamt überprüfen, inwiefern landwirtschaftliche Nutzflächen im Agri-PV-System eine Direktzahlungsfähigkeit erlangen können. Dies gilt insbesondere für die Situation, wenn die Bewirtschaftenden nicht die Haupt-Investoren der PV-Anlage sind.
- Förderung von Photovoltaik-Projekten in der Landwirtschaftszone als *Bürgerenergie-Anlagen*, d.h. unter finanzieller Beteiligung der lokalen Bevölkerung, um den Einbezug und die gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen. Gleichzeitig wird die Sensibilisierung der Bevölkerung für Themen an der Schnittstelle von Energiesicherheit, Nahrungsmittelproduktion und Klimawandel gestärkt.

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**

[mareike.jaeger@zhaw.ch](mailto:mareike.jaeger@zhaw.ch)



- 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) Wang, J. (2022). Assessment of Agrivoltaics for the Transition of the Swiss Electricity System [Semester project]. ETH Zürich
- 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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>