



Agri-PV-Systeme in der Schweiz

Potenzial, Systemarten und Anwendungsgebiete | Die Doppelnutzung landwirtschaftlicher Flächen zur Erzeugung von Solarstrom, bekannt als Agri-Photovoltaik, gewinnt weltweit an Bedeutung. Im Gegensatz zu herkömmlichen Freiflächenanlagen wird die Fläche sowohl für die Energieerzeugung als auch für die landwirtschaftliche Nutzung erschlossen und damit die Effizienz der Landnutzung erhöht.

PETER SCHWER

Agri-PV-Anlagen sind PV-Systeme, die eine Doppelnutzung einer Landfläche ermöglichen: für die Landwirtschaft sowie als PV-Standort zur nachhaltigen Energieerzeugung. Die Technologie wurde erstmals in den 1980er-Jahren in Japan und Deutschland getestet und seitdem in verschiedenen Ländern weiterentwickelt.

In der Schweiz, einem Land mit begrenzter landwirtschaftlicher Nutzfläche und hohen Umweltauflagen, bietet Agri-PV eine Chance. Landwirte können damit ihre Einnahmequellen diversifizieren und ihre Kulturen und Böden im Hinblick auf den Klimawan-

del besser schützen. Bisher bestehen in der Schweiz jedoch teilweise Bedenken und Hindernisse hinsichtlich der raumplanerischen Handhabung, der Bewilligungen, dem Verlust landwirtschaftlicher Flächen und der visuellen Beeinträchtigung der Landschaft. Diverse Bestrebungen sind im Gange, um diese Art der PV-Produktion an geeigneten Standorten zu ermöglichen.

Potenziale für Agri-PV in der Schweiz

Eine Potenzialanalyse der ZHAW zeigt ein theoretisches Gesamtpotenzial für die Schweiz von 323 TWh pro Jahr [1]. Berücksichtigt man jedoch nur Flächen

innerhalb eines 300-m-Puffers um Einspeisepunkte, reduziert sich das Potenzial auf 113 TWh pro Jahr, verteilt über 2040 km². Dieses Potenzial entspricht dem doppelten Stromverbrauch der Schweiz im Jahr 2023 und konzentriert sich hauptsächlich auf offene Ackerflächen (81%), Dauergrünland (16%) und Dauerkulturen (3%), insbesondere im Mittelland. Bei den Dauerkulturen haben Rebflächen den grössten Anteil, gefolgt von Obstplantagen.

Je nach gewählter Kultur könnten auf 1 bis 2% der Schweizer Landwirtschaftsfläche (ohne Sömmerungsflächen), d.h. auf der zweieinhalb- bis fünffachen Fläche aller Schweizer

Golfplätze, jährlich 7 bis 8 TWh Strom erzeugt werden, also rund 10 % des für 2050 erwarteten Strombedarfs.

Systemarten

Bei der **Überdachung von Kulturen** überdecken die PV-Module die Kulturen ganz oder teilweise. Dies schränkt die Bewirtschaftung kaum ein und schützt die Kulturen. Für die Bewirtschaftung mit Maschinen sind lichte Höhen von mindestens 3 bis 4 m nötig. Dies bedingt einen erhöhten Aufwand für die Unterkonstruktion, speziell auch durch die im internationalen Vergleich hohen statischen Anforderungen der Schweizer Normen (SIA 261) für Windlasten. Es gibt eine Reihe von Systemen mit unterschiedlichen Anordnungen, Licht- und Regendurchlässigkeit der PV-Fläche (**Bild 1**). Nebst der auf die darunter angebauten Pflanzen abzustimmende Lichtdurchlässigkeit sind auch Zusatzelemente für die Dachwasserführung oder die benötigte Bewässerung unter den geschützten Bereichen vorzusehen.

Einen Sonderfall stellen **geschlossene Gewächshäuser** (**Bild 2**) dar. Vor allem bei Kulturen, die bisher bereits auf diese Weise gegen Umwelteinflüsse geschützt wurden und bei denen ein Neubau geplant ist, entstehen grosse Synergieeffekte.

Die **einachsigen Trackersysteme** sind in Reihen angeordnet (**Bild 3**). Sie folgen dem Lauf der Sonne um die horizontale Achse und maximieren so die Energieausbeute. Bei starkem Wind oder für die Bewirtschaftung des Bodens können die Modulflächen horizontal oder vertikal ausgerichtet werden. Über den Neigungswinkel kann die Beschattung der angrenzenden Flächen variiert werden, allerdings auf Kosten des Energieertrags.

Vertikale Systeme bestehen aus Reihen mit vertikal aufgestellten, beidseitig produzierenden PV-Modulen, sogenannten Bifazialmodulen (**Einstiegsbild**). Die Firma Next2sun hat das System erfunden, in den letzten Jahren zur Marktreife gebracht und zusammen mit Forschungsinstituten wie der Universität für Bodenkultur in Wien damit wesentliche Erkenntnisse gesammelt. Dabei geht nur ein sehr schmaler Streifen Land für die landwirtschaftliche Produktion verloren. Das System ist flexibel im Hinblick auf Bearbeitungshöhe, -breite und -rich-



Bild 1 Teildurchlässige Struktur, die beispielsweise für Spalierobst geeignet ist.



Bild 2 PV auf Treibhäusern schränkt die Bewirtschaftung nicht ein.



Bild 3 Einachsige Trackersysteme folgen dem Lauf der Sonne.



Bild 4 Der Klassiker: schräg aufgeständerte Freiflächensysteme.

Flächenverbrauch	Überdachungssysteme brauchen als Substitut von klassischen Treibhäusern nicht mehr Platz. Bei offenen Ackerflächen oder Grünland reduzieren die Stützenbereiche die verfügbare Fläche. Vertikalsysteme benötigen wenig Platz, während klassische Anlagen den höchsten Flächenverbrauch haben.
Schutz der Kulturen	Überdachungssysteme schützen Kulturen am besten vor Hagel, Schnee, Starkregen, Trockenheit. Vertikalsysteme bieten seitlichen Schutz und reduzieren durch die windbrechende Wirkung und den Schattenwurf die Winderosion und die Bodenaustrocknung. Je nach Programmierung schützt ein Trackingsystem die Kulturen oder die PV-Paneele (Schutzposition).
Bewirtschaftung	Auf einem Treibhaus reduzieren PV-Module die Einstrahlung, ohne die Bewirtschaftung einzuschränken. Bei den drei anderen Systemen wird die maschinelle Bewirtschaftung durch die Pfostenbereiche behindert (2 bis 10 % der Fläche) [2]. Zwischen den Pfosten/Reihen ermöglichen sie aber eine nahezu ungestörte landwirtschaftliche Nutzung. Precision Farming und automatische Spurführungssysteme erleichtern dabei die Bewirtschaftung. Für die Ökologie sind dem Ackerbau entzogene Flächen nicht verloren, denn sie dienen als Ackerrandstreifen, Blumenstreifen oder Ökoflächen.
Mikroklima	Agri-PV-Systeme verändern das Mikroklima unter oder im nahen Umfeld der Strukturen, da die Sonneneinstrahlung, die Luft- und Bodentemperatur sowie die Windgeschwindigkeit sinken und Bodenwasserverluste reduziert werden [2]. Je nach Kultur, Jahreszeit oder klimatischem Jahresverlauf («Hitzesommer») wirkt sich dies positiv oder negativ auf die landwirtschaftliche Nutzung aus.
Elektrische Leistung pro Hektar	Überdachungssysteme schneiden hier am besten ab, gefolgt von Tracking- und Vertikalsystemen. Bei allen Systemen hängt diese Grösse stark von den gewählten Reihenabständen ab bzw. vom Lichtbedarf der Kulturen unter den PV-Zellen. Je höher der Lichtbedarf, desto weniger PV-Leistung kann installiert werden. Die Grössenordnungen bewegen sich von 0,30 - 0,75 MW/ha.
Energieertrag pro Hektar	Trackersysteme haben – bei nicht allzu weiten Reihenabständen – die höchste Energieausbeute pro Fläche, gefolgt von Überdachungssystemen und den Vertikalanlagen.
Erosion	Vertikalsysteme verursachen die geringsten Erosionsprobleme, da der Boden nicht komplett abgedeckt wird. Alle anderen Systeme benötigen Massnahmen zum Wasserhaushalt unter den Paneelen und den Erosionsgefahren bei den Abtropfkanten.
Anpassung an Geländeform	Vertikalsysteme sind sehr flexibel in hügeligem Gelände, Trackersysteme stossen hier schnell an Grenzen. Die Komplexität der Unterkonstruktion steigt für Überdachungssysteme schnell bei unebener Topografie.
Schneelasten und Hagelwiderstand	Aus Sicht der Stromerzeugung bieten vertikale Systeme den besten Schutz, da Schnee nicht auf den Modulen liegen bleibt und die vertikale Ausrichtung Hagel besser widersteht.
Visuelle Beeinträchtigung	Alle Systeme, mit Ausnahme derjenigen, die ein bisheriges Treibhaus ersetzen/ergänzen, verändern das bisherige Erscheinungsbild. Welches System in welchem Umfeld wie wirkt, hängt von vielen Faktoren ab: Vorbelastung, landschaftlicher Kontext, Topografie, Proportionen, Einsehbarkeit sowie vom subjektiven Empfinden.
Wertigkeit der Stromproduktion	Bei gleichen spezifischen Erträgen liefern Vertikalsysteme besonders im Winter und ausserhalb der Spitzenproduktion am Mittag wertvolleren Strom und rund 10 % geringere Spitzen.
Unterhalt und Wartung der PV-Anlage	Während die PV-Komponenten der Überdachungssysteme wegen der grösseren Höhe ab Boden schlechter für Wartung und Reinigung zugänglich sind, haben Trackersysteme mehr bewegte Teile und mechanische Komponenten, die einen höheren Unterhalt bedingen. Vertikalsysteme verschmutzen deutlich weniger und sind gut zugänglich. Bei gleichen Landpachtkosten pro Hektar und weniger kW pro Hektar resultieren für sie aber höhere Pachtkosten pro kWh.

Tabelle Vergleich der Agri-PV-Systeme.

tung. Die Stromproduktion variiert je nach Reihenabstand (5 bis 12 m) und Bodenreflexion. Der spezifische Ertrag kann bis zu 10 % höher sein als bei fest installierten Freiflächenanlagen.

Klassische schräg aufgeständerte Freiflächensysteme haben feste metallische Unterkonstruktionen, die in einem bestimmten Winkel zur optimalen Sonneneinstrahlung aufgestellt

werden (**Bild 4**). Es gibt nach Süden ausgerichtete, meist steiler aufgerichtete PV-Flächen und Ost-Westsysteme mit flacherem Anstellwinkel. Solche Systeme gelten nicht als Agri-PV-Systeme, da sie die landwirtschaftliche Nutzung stark einschränken und es eher ein Nebeneinander als ein Miteinander der Nutzungen ist.

Raumplanung und Bewilligung

Die Raumplanung und die Bewilligung von Agri-PV-Anlagen in der Schweiz unterliegen strengen Vorschriften, insbesondere ausserhalb der Bauzonen. Die Anforderungen umfassen den Nachweis der Standortgebundenheit und der Vorteile für die landwirtschaftliche Produktion oder Forschung. Dies hat dazu geführt, dass bisher nur Pilotanlagen mit hohem Projektierungsaufwand realisiert werden konnten.

Konflikte können mit Fruchtfolgeflächen, Naturschutzgebieten und Ausgleichsflächen entstehen. Grössere Anlagen stellen ausserdem einen Eingriff in das Landschaftsbild dar. Um eine Bewilligung zu erhalten, müssen diese Aspekte sorgfältig abgewogen werden. Der Mantelerlass, der vom Volk am 9. Juni 2024 mit grossem Mehr angenommen wurde, schafft neue gesetzliche Grundlagen, die die Bewilligung von Agri-PV-Anlagen erleichtern sollen.

Anwendungsgebiete

Welches Agri-PV-System sich für welche Bewirtschaftung und Topografie eignet, hängt von mehreren Faktoren ab:

- **Offene Ackerflächen:** Einachsige Trackersysteme und vertikale Systeme sind hier besonders geeignet, da sie hohe Erträge liefern, günstiger sind und die Bewirtschaftung nur minimal beeinträchtigen.
 - **Dauergrünland:** Vertikale Systeme sind ideal, da sie den Flächenverbrauch minimieren, an das oft nicht ebene Gelände anpassbar sind, die Weidenutzung nicht behindern und kostengünstiger als Überdachungssysteme sind.
 - **Dauerkulturen:** Überdachungssysteme bieten den besten Schutz und optimieren die landwirtschaftlichen Erträge diverser Kulturen.
- Die nebenstehende **Tabelle** geht detaillierter auf die spezifischen Eigenschaften der Agri-PV-Systeme ein.

Gestehungskosten

Viele Faktoren beeinflussen die Gesteungskosten von Agri-PV-Anlagen. Bei den Investitionskosten sind die Kosten für Unterkonstruktion und Netzananschluss entscheidend. Erstere sind standortabhängig, wobei vertikale Konstruktionen am günstigsten sind, aber immer noch teurer als Dachanlagen oder klassische Freilandanlagen. Die Kosten für den Netzananschluss hängen vom Standort und vom System ab. Diverse Parameter unterliegen wirtschaftlichen Einflüssen (Modulpreise, Stahlpreise, Zinsniveau, künftig verschärfte Hagelanforderungen) und müssen daher regelmässig überprüft werden.

Eine Berechnung der Gesteungskosten für eine 1-MW-Referenzanlage am Standort Kloten durch die ZHAW [3] kommt zu folgenden Resultaten: Mit 6 Rp./kWh sind die Gesteungskosten bei Vertikalanlagen auf Grünland am tiefsten. Systeme über Ackerflächen kommen auf 7.8 Rp./kWh und Überdachungen von Dauerkulturen auf 8.4 Rp./kWh.

Für den Strommarkt der Zukunft und die wirtschaftliche Situation der Projekte gewinnt die Wertigkeit des Stroms und die Netzverträglichkeit des Stromerzeugungsprofils an Bedeutung. Die Produktion im Winter oder in den Morgen- und Abendstunden ist für die Vermarktung wertvoller. In einer Studie für Deutschland von

Enervis erzielten die Anlagenkonstellationen vertikal aufgeständert mit West-Ost-Ausrichtung sowie steil aufgeständerte (70°) Anlagen mit Südausrichtung die besten Marktwertvorteile und Mehrerlöse [4]. Dies dürfte sich mit der zugrunde gelegten Strompreisentwicklung und dem Ausbau der PV-Leistung in den kommenden Jahren noch akzentuieren.

Fazit und Ausblick

Agri-Photovoltaik bietet ein enormes Potenzial für eine nachhaltige Energieproduktion in der Schweiz, mit minimaler Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung. Je nach Bewirtschaftung und Topografie eignen sich unterschiedliche Agri-PV-Systeme. Besondere Vorteile bieten vertikale Systeme mit hoher Flächeneffizienz, guter Anpassbarkeit an die Topografie und geringerer visueller Beeinträchtigung.

Verschiedene Länder haben das Potenzial erkannt und ermöglichen die Agri-PV. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen in der Schweiz verhindern diese Doppelnutzung bisher jedoch praktisch komplett. Im Rahmen des Mantelerlasses und weiterer politischer Vorlagen sind Bestrebungen im Gang, die Möglichkeiten zur Genehmigung solcher Anlagen zu erleichtern. Landwirte könnten so zu wichtigen Akteuren der Energiewende werden und ihre Einkommensquellen diversifi-

fizieren. Gleichzeitig bietet sich die Chance, die Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Kulturen zu mindern.

Agri-PV reduziert die Bodenaustrocknung, spart Wasser, bietet Schutz vor Wind und bei überdachten Systemen vor Hagel und Starkregen. Für den Strommarkt mit zunehmend tieferen Preisen im Sommer und zur Mittagsspitze sind insbesondere steil aufgeständerte Systeme attraktiv, die international in grossen Projekten umgesetzt und mit Forschungsbegleitung durch diverse Universitäten erprobt wurden. Sie weisen ein interessantes Erzeugungsprofil, einen höheren Marktwert und eine bessere Netzverträglichkeit als andere Systeme auf.

Referenzen

- [1] Dionis Anderegg, Mareike Jäger, Sven Strebel, Jürg Rohrer, Potenzialabschätzungen für Agri-PV in der Schweizer Landwirtschaft, ZHAW, 2024. doi.org/10.21256/zhaw-2649
- [2] Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfadens für Deutschland, Fraunhofer ISE, Februar 2024.
- [3] Mareike Jäger, Christina Vaccaro, Jürg Boos, Johann Junghardt, Sven Strebel, Dionis Anderegg, Jürg Rohrer, Beatrix Schibli, Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft, ZHAW, 2022. doi.org/10.21256/zhaw-25624
- [4] Studie - Analyse innovativer Anlagendesigns für ein strommarktoptimiertes PV-Portfolio, Enervis Energy Advisors GmbH, 2022.



Autor

Peter Schwer ist Geschäftsführer der Solarzaun GmbH und Senior Experte für Erneuerbare Energien bei Basler & Hofmann AG.
→ Solarzaun GmbH, 8352 Elsau
→ p.schwer@solarzaun.ch

RÉSUMÉ

Systèmes agrivoltaïques en Suisse

Potentiel, types de systèmes et domaines d'application

L'agrivoltaïsme offre un grand potentiel de production d'énergie durable en Suisse, avec un impact minimal sur l'exploitation agricole. Différents systèmes agrivoltaïques entrent en ligne de compte selon l'exploitation et la topographie. Les systèmes verticaux présentent des avantages particulièrement intéressants: ils sont très efficaces en termes de surface, s'adaptent bien à la topographie et leur impact visuel est moindre.

Plusieurs pays ont reconnu ce potentiel et permettent la réalisation de tels systèmes. En Suisse, le cadre légal empêchait toutefois jusqu'à présent presque totalement cette double utilisation. Dans le cadre de l'acte modificateur unique et d'autres projets politiques, des efforts sont en cours pour faciliter l'autorisation de telles installations. Les agriculteurs pourraient ainsi devenir des acteurs impor-

tants de la transition énergétique et diversifier leurs sources de revenus. Ces systèmes offrent en outre l'opportunité d'atténuer les effets du changement climatique sur les cultures agricoles: l'agrivoltaïsme réduit le dessèchement des sols, offre une protection contre le vent et, dans le cas de systèmes couverts, contre la grêle et les fortes pluies.

Les systèmes à forte inclinaison, tels que ceux mis en œuvre et testés par des chercheurs de diverses universités dans le cadre de grands projets internationaux, sont particulièrement attrayants pour le marché de l'électricité, où les prix sont de plus en plus bas en été ainsi qu'aux alentours de midi. Ils présentent un profil de production intéressant, une valeur marchande plus élevée et une meilleure compatibilité avec le réseau que les autres systèmes.