



Zwischenbericht per 31.12.2024

Pilotprojekt Agri-PV bioschmid

Agri PV Living Lab: Entwicklung und On-Farm-
Vergleich verschiedener Agri-Photovoltaik-
Technologien auf Beerenkulturen





Datum: 31.12.2024

Ort: Gelfingen

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:

Bioschmid

alle Projektpartner

Yvonne und Alberto-Galbiati Stiftung
Rehweid 15
CH-8322 Madetswil
<http://www.galbiati-stiftung.ch>

Swisslos Kanton Luzern
Bahnhofstrasse 18
CH-6000 Luzern
<https://www.lu.ch/verwaltung/BKD/Swisslos>

Fondation Sur-La-Croix
Kanonengasse 31
CH-4051 Basel
<https://www.fondation-sur-la-croix.ch>

Fondation Valery
Rue de Bourg 19
CH-1003 Lausanne
<https://www.fondation-valery.ch>

Subventionsempfänger/innen:

bioschmid gmbh
Oberfeld 1
CH-6284 Gelfingen

Berner Fachhochschule BFH
Jlcoweg 1
CH-3400 Burgdorf

Oberfeld Energie GmbH
Oberfeld 1
CH-6284 Gelfingen

Insolight SA
Av. Longemalle 9
CH-1020 Renens

Megasol AG
Industriestrasse 3
CH-4543 Deitingen

Autor/in:

Andrea Seiberth, bioschmid gmbh,
Heinz Schmid, bioschmid gmbh, heinz.schmid@bioschmid.ch

BFE-Projektbegleitung:

Karin Söderström, Karin.Soederstroem@bfe.admin.ch
Stefan Oberholzer, stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502589-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Das Projekt soll die Machbarkeit der Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik aufzeigen. Des Weiteren soll es die Frage beantworten, ob eine Agri-PV-Anlage einen konventionellen Witterungsschutz ersetzen kann und wie viel Schatten und dadurch Kühlung notwendig sind für eine optimale Entwicklung der Himbeeren.

Es werden drei verschiedene Systeme von Photovoltaikanlagen erbaut, zwei davon sind dynamisch, d.h. die Stärke der Verschattung der Pflanzen kann reguliert werden. Das dritte System ist statisch und der Schatten für die Himbeerpflanzen verändert sich ausschliesslich mit dem Lauf der Sonne. Der Vergleich der drei verschiedenen Agri-PV-Systeme soll zur Entwicklung eines effizienten und kostengünstigen Systems für eine breite Anwendung in der Landwirtschaft beitragen.

2023 und 2024 sind alle Anlagen gebaut worden. Nach der Fertigstellung der dritten Anlage im April 2024 konnten die Himbeeren bereits koordiniert unter die Anlagen und in die Kontrollfläche gepflanzt werden.

Die Forschung im Spannungsfeld zwischen Himbeerproduktion und Stromerzeugung hat im Frühjahr 2024 begonnen und wird bis Ende 2026 fortgeführt. Agroscope Conthey untersucht die verschiedenen agronomischen Aspekte, dabei insbesondere die Auswirkung der Solarpaneele auf die Pflanzen, den Ertrag und die Qualität der Himbeeren. Die Berner Fachhochschule erforscht die Stromproduktion in den verschiedenen Betriebsmodi der Agri-PV-Anlagen.

Die bisherigen Forschungsergebnisse sind mit Vorsicht anzuschauen, da nur eine mehrjährige Untersuchung repräsentativ sein kann. Unter den Agri PV Anlagen, die im Jahr 2024 in Betrieb waren, wurden ähnliche Erträge und eine vergleichbare Qualität erzielt wie in der Kontrollzone.

Die gewonnenen Strommengen entsprechen den Erwartungen. In der Forschung der Berner Fachhochschule zeigen sich Unterschiede bei der Stromproduktion in den verschiedenen Anlagen und je nach Betriebsmodus.

Die Agri-PV-Anlagen des Projekts stossen auf grosses Interesse in der Öffentlichkeit, bei Medien und in Fachkreisen. Seit Juli 2023 ist eine informative Internetseite zum Projekt aufgeschaltet (siehe <https://agri-pv.bioschmid.ch/>).

Im Pilotprojekt haben bereits zahlreiche Führungen stattgefunden und rund 400 Besucher*innen haben die Anlagen gesehen.



Résumé

Le projet vise à démontrer la faisabilité de la combinaison de l'agriculture et du photovoltaïque. En outre, il doit répondre à la question de savoir si une installation agri-PV peut remplacer une protection conventionnelle contre les intempéries et quelle quantité d'ombre et donc de refroidissement est nécessaire pour un développement optimal des framboises.

Trois systèmes différents ont été construits, deux d'entre eux sont dynamiques, c'est-à-dire que l'intensité de l'ombrage des plantes peut être régulée. Le troisième système est statique et l'ombre pour les framboisiers change exclusivement avec la course du soleil. La comparaison des trois différents systèmes Agri-PV doit contribuer au développement d'un système efficace et peu coûteux pour une large application dans l'agriculture.

En 2023 et 2024, toutes les installations ont été construites. Après l'achèvement de la troisième installation en avril 2024, les framboises ont déjà pu être plantées de manière coordonnée sous les installations et dans la zone de contrôle.

La recherche sur l'interaction entre la production de framboises et la production d'électricité a commencé au printemps 2024 et se poursuivra jusqu'à la fin 2026. L'Agroscope de Conthey étudie les différents aspects agronomiques, en particulier l'impact des panneaux solaires sur les plantes, le rendement et la qualité des framboises. La Haute école spécialisée bernoise étudie la production d'électricité dans les différents modes de fonctionnement des installations agri-PV.

Les résultats des recherches menées jusqu'à présent doivent être considérés avec prudence, car seules plusieurs années de suivi peuvent être représentatifs.

Parmi les installations agri PV qui étaient en service en 2024, les rendements et la qualité obtenus étaient similaires à ceux de la zone de contrôle.

Les quantités d'électricité obtenues correspondent aux attentes. La recherche de la Haute école spécialisée bernoise met en évidence les différences de production d'électricité entre les différentes installations et selon le mode de fonctionnement.

Les installations agri-PV du projet suscitent un grand intérêt de la part du public, des médias et des spécialistes. Depuis juillet 2023, un site Internet informatif sur le projet est en ligne (voir <https://agri-pv.bioschmid.ch/>).

De nombreuses visites guidées ont déjà eu lieu dans le cadre du projet pilote et environ 400 visiteurs ont vu les installations.



Summary

The project aims to demonstrate the feasibility of combining agriculture and photovoltaics. Furthermore, it will answer the question of whether an agri-PV system can replace conventional weather protection and how much shade and thus cooling is necessary for optimal raspberry development.

Three different photovoltaic systems will be built, two of which are dynamic, i.e. the amount of shade for the plants can be regulated. The third system is static and the shade for the raspberry plants only changes with the movement of the sun. The comparison of the three different agri-PV systems should contribute to the development of an efficient and cost-effective system for widespread use in agriculture.

All the facilities were built in 2023 and 2024. After completion of the third facility in April 2024, the raspberries were already planted in a coordinated manner under the facilities and in the control area.

Research in the area of conflict between raspberry production and electricity generation will begin in spring 2024 and continue until the end of 2026. Agroscope Conthey is investigating the various agronomic aspects, in particular the impact of the solar panels on the plants, the yield and the quality of the raspberries. The Bern University of Applied Sciences is researching electricity production in the various operating modes of the agri-PV systems.

The research results so far should be viewed with caution, as only several years of monitoring can be representative.

Among the agri-PV systems in operation in 2024, similar yields and quality were achieved as in the control zone.

The amount of electricity generated is in line with expectations. The research conducted by the Bern University of Applied Sciences shows differences in electricity production between the various systems and depending on the operating mode.

The project's agri-PV systems have attracted a great deal of interest from the public, the media and experts. An informative website about the project has been online since July 2023 (see <https://agri-pv.bioschmid.ch/>).

Numerous tours have already taken place, and around 400 visitors have seen the facilities.



Abkürzungsverzeichnis

SOV	Schweizer Obstverband
Agri-PV	Agri-Photovoltaik bezeichnet die gleichzeitige Nutzung von Flächen für die landwirtschaftliche Produktion und die Stromproduktion durch Photovoltaik
CKW AG	Die CKW AG (CKW), früher Centralschweizerische Kraftwerke (AG) bzw. AG Elektrizitätswerk Rathausen bei Luzern, mit Sitz in Luzern ist eine Produzentin und Verteilerin für Elektrizität in der Schweiz
BUL	Beratungsstelle für Unfallverhütung in der Landwirtschaft
Bilder	Laurin Schmid, Rita Williner, David Eppenberger, Heinz Schmid



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	4
Summary	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Inhaltsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	8
1.2 Motivation des Projektes	8
1.3 Projektziele	11
2 Anlagenbeschrieb	12
2.1 «Agroverti» mit vertikalen bifazialen Solarmodulen von Oberfeld Energie GmbH und Netzteam Meyer Zwimpfer AG.....	14
2.1.1 Aufbau der Pilotanlage	14
2.2 «Insolagrín», eine dynamische APV-Lösung der Firma Insolight.....	15
2.2.1 Anlage mit dynamischer Beschattung	15
2.3 «Agrotrack», ein dynamisches System von Megasol AG und Oberfeld Energie GmbH.....	17
2.3.1 Anlage mit dynamischer Beschattung	17
3 Vorgehen und Methode.....	19
3.1 Messungen von Umweltvariablen.....	19
3.2 Agronomische Messungen	19
3.3 Messungen zur Bodenfruchtbarkeit.....	19
3.4 Messung des Stromertrags	20
4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	21
4.1 Erfahrungen und Ergebnisse Landwirtschaftsbetrieb	22
4.2 Erfahrungen und Ergebnisse landwirtschaftliche Forschung (Agroscope)	23
4.3 Erfahrungen und Ergebnisse Forschung Photovoltaik (Berner Fachhochschule)	25
4.3.1 Arbeiten	25
4.3.2 Auswertung.....	27
4.4 Erfahrungen und Massnahmen der Solarfirmen	32
4.4.1 Insolight	32
4.4.2 Megasol	32
5 Bewertung der bisherigen Ergebnisse.....	33
6 Weiteres Vorgehen	34
7 Kommunikation	35
8 Literaturverzeichnis	36



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Der Forschungs- und Erprobungsbedarf von neuen Schutzmöglichkeiten für die empfindlichen Spezialkulturen ist aufgrund der sich zeigenden Wetterextreme wie Hitzeperioden, Starkregen, Hagel, Trockenheitsperioden in den letzten Jahren dringlich geworden. Unser Projekt soll die Machbarkeit der Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik aufzeigen, die Frage beantworten, ob eine Agri-PV-Anlage einen konventionellen Witterungsschutz ersetzen kann und wie viel neu zusätzlich Schatten und dadurch auch Kühlung notwendig ist für eine optimale Entwicklung der Beeren.

Durch den Vergleich von drei verschiedenen und völlig neuen Systemen von Agri-PV ist das Forschungsvorhaben besonders interessant. Gemäss Agroscope ist auch der Standort Innerschweiz interessant, bisher wurde einzig im Wallis und in kleinen Anlagen an diesen Themen geforscht.

Unsere Anlage kann dazu beitragen, die Forschungsfragen zu beantworten und eine nützliche und kostengünstige Anlage zu entwickeln, die auf vielen weiteren Betrieben zum Einsatz kommen kann. Für interessierte Kreise ist die Besichtigung der Anlage in einer realen landwirtschaftlichen Grösse für Spezialkulturen eine wichtige Möglichkeit und Entscheidungshilfe.

Weiter beinhaltet die Vorbereitungsarbeit die Entwicklung der drei Anlagentypen, die Aufstellung des Projekts und einige Vor-Versuche mit Photovoltaik-Elementen in der Heidelbeeranlage des Betriebs bioschmid gmbh.

Die Projektpartner sind Forschungsinstitute (Agroscope Conthey für die agronomische Forschung und die Berner Fachhochschule für die Photovoltaikforschung) und Solaranlagenentwickler (Megasol AG, Insolight SA, Oberfeld Energie GmbH). Der Projektleiter bei bioschmid ist erfahrener Landwirt, seit 20 Jahren Beerenproduzent und hat gute Kenntnisse im Bereich von Photovoltaik-Anlagen (Oberfeld Energie GmbH).

1.2 Motivation des Projektes

Unsere Motivation ist die Suche nach einer agronomischen Optimierung in der Beerenproduktion bei fortschreitendem Klimawandel. Die Elemente der Agri-PV können dazu einen Beitrag leisten und liefern als positiven Nebeneffekt zusätzlich Strom und einen Beitrag zur Energiewende. Die Kombinationsmöglichkeit ist sehr vielversprechend. Es gibt in der Landwirtschaft ein sehr grosses Potential, besonders sinnvoll in der Nachbarschaft von Industriezonen, wo der Strom direkt verwendet werden kann.

Agri-Photovoltaik: Doppelte Nutzung von Agrarland

In der Schweiz und in vielen europäischen Ländern wird eine Doppelnutzung von Land und Infrastruktur notwendig, um die mit der Energiewende verbundenen Ziele für den Einsatz von Photovoltaikanlagen



zu erreichen. Viele Länder (z. B. die Schweiz, Frankreich, Deutschland, die USA, Japan und China) haben bereits oder planen Regulierungen zum Schutz von Agrarland für die Nahrungsmittelproduktion. Diese Situation führt zu einem wachsenden Wettbewerb um die Nutzung von Land. Bei der Agri-Photovoltaik (Agri-PV) geht es darum, Stromerzeugung und Landwirtschaft auf demselben Grundstück zu kombinieren (Weselek et al. 2019). Dieser Ansatz erlebt derzeit einen Aufschwung, der sowohl von wichtigen Marktteilnehmern als auch von neuen Regulierungen vorangetrieben wird. So kündigte beispielsweise Total in Frankreich im Jahr 2020 an, bis 2025 allein 500 MWp an Agri-PV-Anlagen installieren zu wollen, und in Europa werden derzeit Gesetzesvorschläge erarbeitet, die es ermöglichen sollen, eine sekundäre Photovoltaikproduktion an eine landwirtschaftliche Hauptproduktion zu koppeln und dabei Synergien zwischen den beiden Produktionen zu ermöglichen.

Schutzbedarf von Beerenkulturen vor klimatischen Unwägbarkeiten

Parallel zum steigenden Energiebedarf der Gesellschaft sieht sich die Schweizer Landwirtschaft immer häufiger extremen Wetterereignissen ausgesetzt, die mit dem Klimawandel zusammenhängen: Hitzewellen, Trockenheit, starke Niederschläge usw. Die Landwirtschaft ist auch mit einem hohen Energiebedarf konfrontiert. Obwohl sich diese Belastungen auf die meisten Kulturen negativ auswirken, leiden einige Kulturen, wie z. B. Beeren, besonders darunter. Dies führt zu geringeren Erträgen und negativen Auswirkungen auf die Qualität der Früchte, die landwirtschaftliche Betriebe gefährden können. Die Widerstandsfähigkeit von Beerenkulturen gegen schlechtes Wetter kann mit einer Produktion unter Schutzabdeckungen verbessert werden. Diese Produktionsweise nimmt derzeit stark zu und ermöglicht eine erhebliche Verringerung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (Schweizer Obstverband (SOV)-Statistik 2020; Leitfäden für Beerenobst). Neben diesen wichtigen Vorteilen verstärken die Abdeckungen jedoch die hohen Temperaturen im Sommer und müssen mit Schattiernetzen ausgestattet werden.

Die Agri-PV, die sich besonders für Pflanzenarten mit geringem Lichtbedarf wie Beeren eignet (Pataczek et al. 2021), soll daher die Kulturen vor klimatischen Unwägbarkeiten schützen, indem sie Schatten und physischen Schutz vor Niederschlägen miteinander verbindet. Die Beschattung durch die Paneele kann auch den Wasserbedarf der Pflanzen stark reduzieren, indem die Evapotranspiration verringert wird (Adeh et al. 2018; Marrou et al. 2013).



«Statische» und «dynamische» Agri-PV

Bei der Agri-PV lassen sich zwei verschiedene technologische Ansätze mit unterschiedlichen Kosten und Funktionen unterscheiden. Die erste Lösung beruht auf der Errichtung einer statischen Struktur, die aus bifazialen Silizium-Solarmodulen besteht. Diese Lösung scheint derzeit am kostengünstigsten zu sein (Kosten für die Paneele und "leichte" Struktur), ermöglicht jedoch keine Regulierung der Beschattung in Abhängigkeit von den darunter angebauten Pflanzen dem Entwicklungsstadium und der Jahreszeit.

Der zweite Ansatz besteht in der Verwendung einer dynamischen Technologie, die es ermöglicht, den Lichteinfall auf die Pflanzen zu regulieren. Entweder durch die Veränderung der Neigung der Paneele oder durch den Einsatz teiltransparenter Module in Kombination mit einem darunter montierten ein- und ausfahrenden Schattierschirmsystem. Dynamische Technologien sind unweigerlich mit einer höheren finanziellen Investition verbunden, ermöglichen es aber, das auf die Pflanzen übertragene Licht je nach Bedarf anzupassen.

Aktuelle Projekte und Forschung im Bereich Agri-PV weltweit, in Europa und in der Schweiz

Die Begeisterung für Agri-PV ist relativ neu, in den letzten Jahren wurden weltweit mehrere kommerzielle und Forschungsanlagen errichtet. Das grösste Agri-PV-Kraftwerk der Welt mit einer Kapazität von ca. 1 GW und einer Fläche von 20 Quadratkilometern befindet sich am Rande der Wüste Gobi in China. Zwischen 2004 und 2017 wurden in Japan über 1000 Agri-PV-Anlagen realisiert (Weselek et al. 2019), wo denen Kulturen wie Reis, Auberginen, Gurken und Tomaten angebaut werden. Um die Vorrangstellung der landwirtschaftlichen Kulturen bei der Stromerzeugung zu gewährleisten, schreibt die japanische Gesetzgebung vor, dass die Landwirte mindestens 80 Prozent der landwirtschaftlichen Produktion aufrechterhalten müssen.

Auch in Europa wurden in den letzten Jahren mehrere Agri-PV-Projekte realisiert. In Frankreich, einem Pionierland für Agri-PV in Weinbergen, hat das Unternehmen Sun'Agri kürzlich drei Anlagen in Piolenc (Weinberge), Mallemort (Apfelbäume) und Tresserre (Weinberge) errichtet, die auf einer dynamischen Technologie mit opaken bifazialen Paneelen basieren, deren Modulausrichtung eindimensional verändert werden kann. In Deutschland wurde eine 0,4 Hektar grosse Anlage mit statischer, halbtransparenter Technologie für die Produktion von Himbeeren und Heidelbeeren errichtet. Mit dieser Anlage untersucht das Forschungsinstitut Fraunhofer ISE in Zusammenarbeit mit BayWa r.e. Solar Projects GmbH die Auswirkungen von halbtransparenten statischen Modulen auf die Apfelproduktion. Im niederländischen Babberich hat BayWa r.e. im Jahr 2020 eine 3,3 Hektar grosse Himbeerplantage mit semitransparenten statischen Modulen mit einer Gesamtleistung von 2,65 MW ausgestattet.

In der Schweiz sind Agri-PV-Projekte noch selten, aber das Interesse wächst schnell im landwirtschaftlichen Bereich und bei den Stromversorgern. Ein Projekt der ZHAW untersucht die Machbarkeit von Agri-PV in der Schweiz, wobei der Schwerpunkt vor allem auf raumplanerischen und rechtlichen Fragen



liegt (Jäger Mareike et al, 2022). Das Unternehmen Swissradies in Ried hat einen Teil des Daches seiner Gewächshäuser mit Solarmodulen ausgestattet. Im Sommer 2021 wurde die Pilotanlage "insolagrín" auf dem Gelände von Agroscope in Conthey installiert, um eine innovative Technologie mit dynamischen Modulen zu testen, mit der die Lichtdurchlässigkeit bei Erdbeer- und Himbeerkulturen zwischen 25 % und 75 % variiert werden kann.

Derzeit gibt es in der Schweiz keine mittelgrosse Agri-PV-Anlage (1000-5000 m²), wo verschiedene Technologien unter realen Produktionsbedingungen untersucht werden können.

Unser Projekt: Entwicklung und «on-farm»-Bewertung von drei verschiedenen Technologien

Der Forschungs- und Erprobungsbedarf von neuen Schutzmöglichkeiten für empfindliche Spezialkulturen ist aufgrund der sich zeigenden Wetterextreme wie Hitzeperioden, Starkregen, Hagel, Trockenheitsperioden in den letzten Jahren dringlich geworden. Unser Projekt soll die Machbarkeit der Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik aufzeigen, die Frage beantworten, ob eine Agri-PV-Anlage einen konventionellen Witterungsschutz ersetzen kann und wie eine zusätzliche Schattierung für eine optimale Entwicklung der Beeren zu wählen ist.

1.3 Projektziele

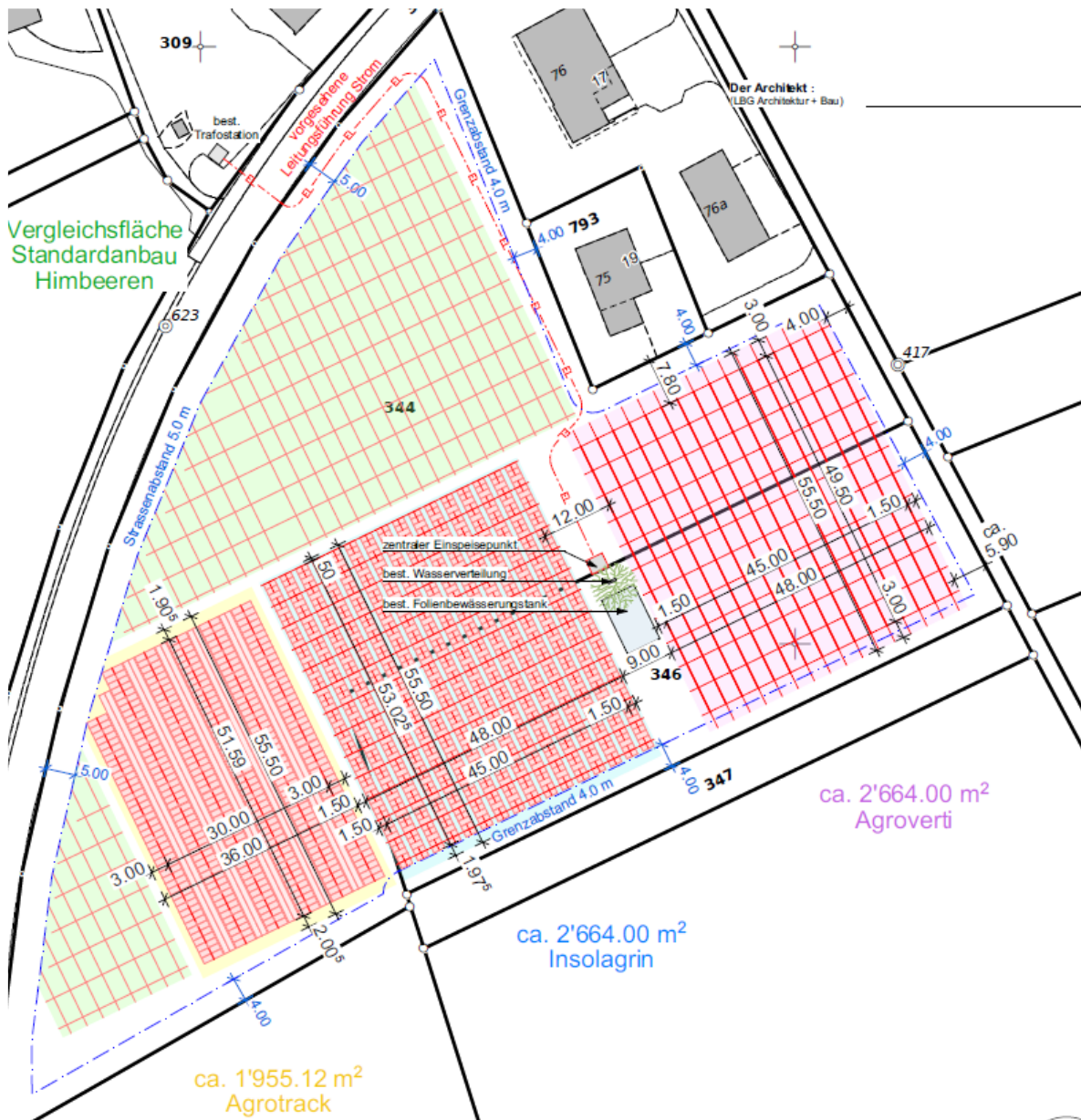
Die Entwicklung der Agri-PV in der Schweiz erfordert zwangsläufig die Bewertung und Optimierung verschiedener Technologien in mehreren mittelgrossen Pilotprojekten bei Landwirten. Obwohl Beerenkulturen zu den am besten geeigneten Kulturen für die Agri-PV zu gehören scheinen (Pataczek et al. 2021), sind noch angewandte Forschungsprojekte notwendig, um die folgenden Ziele zu erreichen und so die Doppelnutzung des Landes zu gewährleisten. Ziele sind:

- Steigerung von Qualität und Ertrag der Beeren
- Erforschung der Eignung von Solarpaneelen als Beschattungs- und Schutzelemente für Beeren
- Untersuchung, wie sich die Solarpaneele auf die Entwicklung und die Gesundheit der Beerenpflanzen auswirken
- Pilotanlage zur Anschauung für interessierte und kritische Kreise
- Entwicklung eines effizienten und kostengünstigen Systems für die breite Anwendung
- Untersuchen, wie sich die Agrarproduktion auf die Stromproduktion auswirkt
- Beitrag zur dezentralen Stromversorgung durch Einspeisung ins Netz und durch eventuellen direkten Verkauf der produzierten Energie an einen Industriebetrieb und weitere Interessenten in der unmittelbaren Nachbarschaft.



2 Anlagenbeschreibung

Auf drei Teilflächen (Anlagen 1, 2 und 3) der Parzellen 344 und 346 werden verschieden angeordnete feste und bewegliche Agri-PV-Systeme für die optimale Schattierung der Himbeeren errichtet und getestet (Abbildung 1 und Tabelle 1). Die Kontrollfläche mit Standard-Witterungsschutz befindet sich auf den gleichen Parzellen direkt angrenzend. Beim Standard-Witterungsschutz handelt es sich um eine Flachfolienabdeckung der Firma Netzteam Meyer und Zwimpfer AG. Die Parzellen sind ideal in der Nähe eines Industriegebietes gelegen, so dass möglicherweise ein Grossteil des erzeugten Ökostroms direkt vor Ort verbraucht werden könnte und die Netzinfrastruktur nicht belastet werden müsste. Die



Erschliessung und Netzanbindung erfolgt in Kooperation mit dem Netzbetreiber CKW.



Abbildung 1: Lageplan der Agri-PV-Versuchsparzelle und Anordnung der Zone für AP1 und AP2, AP3

	Agroverti	Insolagrín	Agrotrack+(Zwischenstruktur)
Grundfläche [m ²]	2'664	2'664	1'955
Ausrichtung/Neigung	65°/90°	65°/12°	60°/Tracking (+Ost/West 20°)
Modultyp	Bifacial	Bifacial, halbtransparent	Bifacial
Ausrichtungen inkl. Modulrückseite	2	2	2(2)
Wechselrichtertyp	Huawei SUN2000-50KTL-M3	Huawei SUN2000-50KTL-M3	Growatt MAX 60KTL3 LV +(Huawei SUN2000-50KTL-M3)
Anzahl Wechselrichter	2	3	3(+2)
AC-Leistung [kW]	100	150	180(+100)
Modultyp	Megasol 390 W Glas/Glas gerahmt	THEIA 200 W Glas/Glas gerahmt	Megasol 390 W Glas/Glas gerahmt
Anzahl Module	352	800	552(+296)
DC-Leistung [kWp]	137.28	160	215.2(+115.4)

Tabelle 1: Flächen und technische Daten



2.1 «Agroverti» mit vertikalen bifazialen Solarmodulen von Oberfeld Energie GmbH und Netzteam Meyer Zwimpfer AG

2.1.1 Aufbau der Pilotanlage

Im Teil 1 «Agroverti» werden bifaziale Solarpaneele vertikal auf einer hölzernen Witterungsschutz-Struktur platziert (siehe Abbildung 2 für eine detaillierte Visualisierung der Struktur). Die Verschattung kann nicht gesteuert werden. Das System ist einfach und kostenoptimiert aufgebaut.

Es sind zwei Wechselrichter installiert. Jede Modulreihe bildet einen String, total 16 Strings. Ein String ist mit Optimierern ausgerüstet, wobei pro Modul ein separater Optimizer verbaut ist.

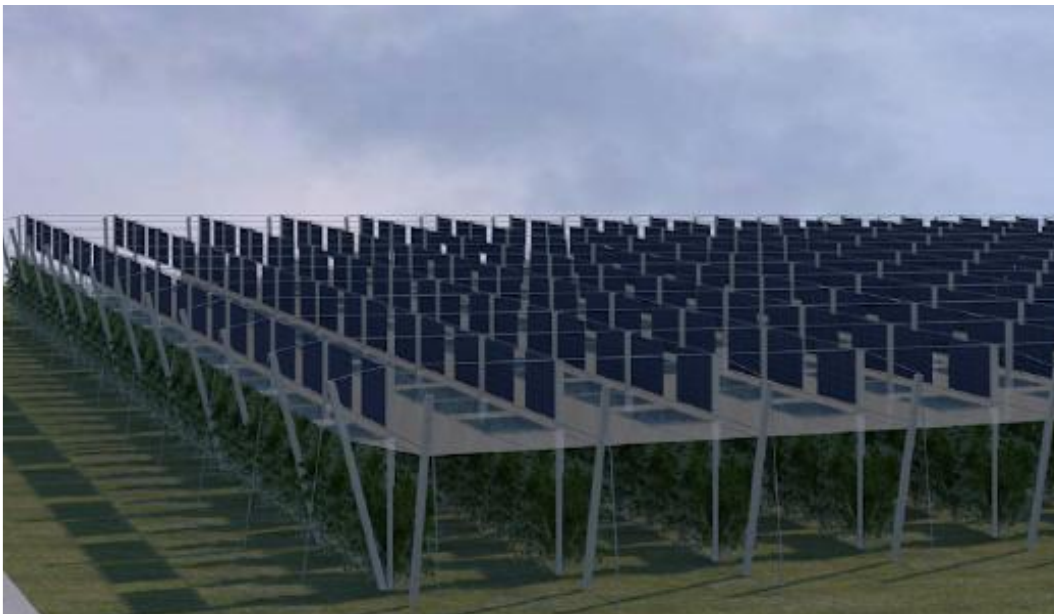


Abbildung 2: Visualisierung der Agri-PV-Pilotanlage für Agroverti und Bild des Originals (unten).





2.2 «Insolagrín», eine dynamische Agri-PV-Lösung der Firma Insolight

2.2.1 Anlage mit dynamischer Beschattung

Das Produkt «Insolagrín» der Firma Insolight ist eine Agri-PV-Anlage, die auf Basis von teiltransparenten Solarmodulen den Witterungsschutz ersetzt. Die Anlage schützt die Himbeerpflanzen vor Hagel, Regen und starker Hitze sowie Sonnenbrand dank einer dynamisch regulierbaren Schattierung. Das nicht auf die Pflanzen übertragene Licht wird in Strom umgewandelt (Lage siehe Abbildung 1)

Ein Algorithmus steuert die Beschattung auf Basis von Licht- und Temperaturdaten und ermöglicht es beispielsweise, bei großer Hitze den Beschattungsschirm zu schließen, um die Pflanzen zu schützen. Außerhalb der Wachstumsperiode wird ein Wintermodus aktiviert, um die Stromproduktion durch Ausfahren des Schirms zu maximieren, der das Licht auf die Rückseite der bifazialen Paneele reflektiert. Es sind drei Wechselrichter mit insgesamt 24 Strings installiert. Ein String ist mit Optimierern ausgerüstet, wobei pro zwei Module ein Optimierer verbaut ist.

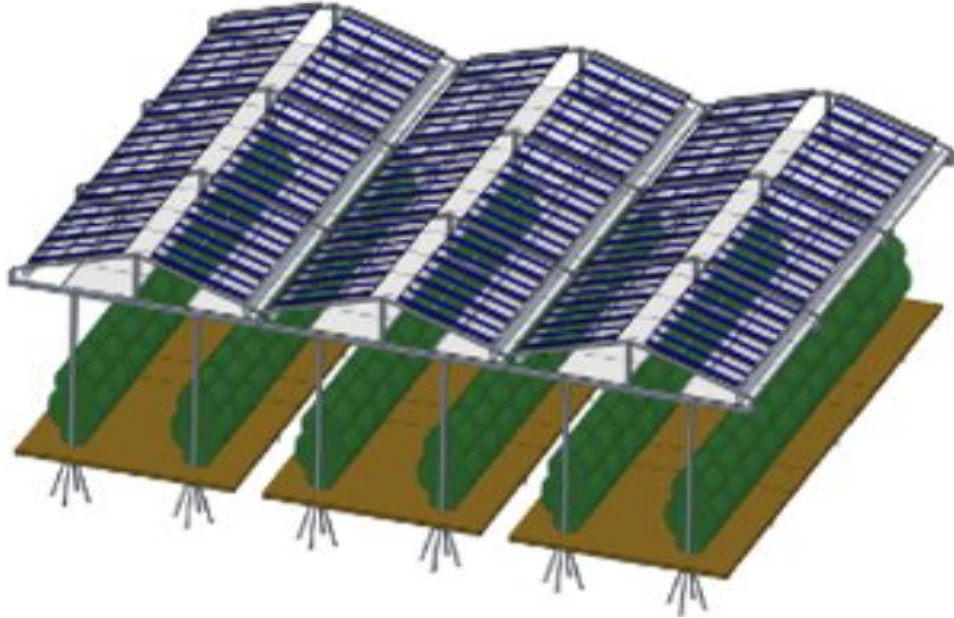


Abbildung 3: Technische Visualisierung der Struktur (Insolagrün) und Bild des Originals (unten).



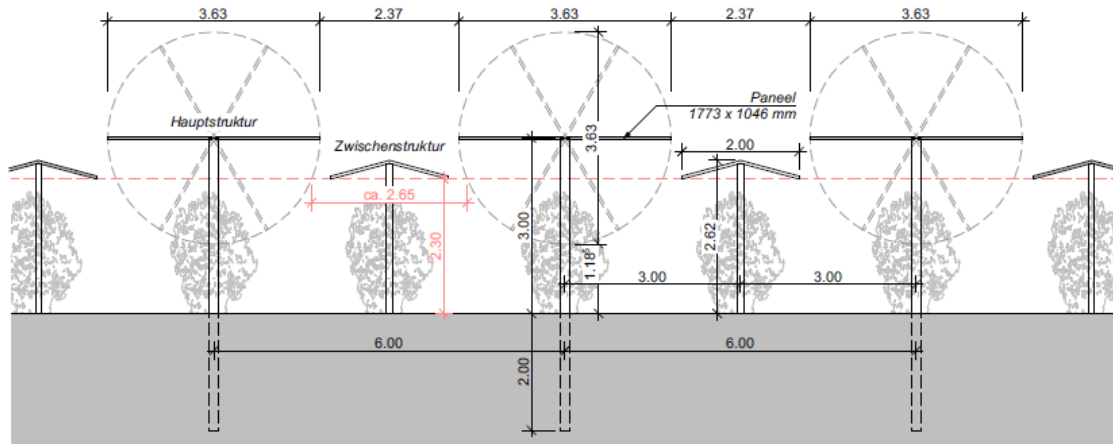


2.3 «Agrotrack», ein dynamisches System von Megasol AG und Oberfeld Energie GmbH

2.3.1 Anlage mit dynamischer Beschattung

Das Projekt «Agrotrack» der Firmen Oberfeld Energie GmbH und Megasol Energie AG ist eine Agri-PV-Anlage, die auf Basis von Solarmodulen mit einem modifizierten eindimensionalen Tracker als Hauptstruktur sowie einer leichten Zwischenstruktur den Witterungsschutz ersetzt. Die Anlage schützt die Himbeerpflanzen vor Hagel, Regen und starker Hitze sowie Sonnenbrand dank einer dynamisch regulierbaren Schattierung. Der Tracker kann für den Pflanzenbau lichtoptimiert gesteuert werden. Dieses System bietet zusätzlich den Vorteil, dass auf Folien und Netze für den Witterungsschutz verzichtet werden kann und dadurch Kunststoff eingespart wird (zusätzlicher ökologischer Nutzen). In der Zwischenstruktur wurden weitere Solarpaneele eingebaut. Dies ergibt eine höhere installierte Leistung.

Bei der Hauptstruktur sind drei Wechselrichter mit insgesamt 28 Strings installiert. Ein String ist mit Optimierern ausgerüstet, wobei pro Modul jeweils ein Optimierer verbaut ist. Bei der Zwischenstruktur sind zwei Wechselrichter mit insgesamt 8 Strings installiert. Alle Module sind mit Optimierern ausgestattet (pro zwei Module ein Optimierer).



Schnitt Mst. 1:100

Abbildung 4: Visualisierung der dynamischen Lösung, die von der Oberfeld Energie GmbH zusammen mit Megasol Energie AG neu entwickelt wird und Bild des Originals (unten).





3 Vorgehen und Methode

3.1 Messungen von Umweltvariablen

Die Temperatur (°C), die Luftfeuchtigkeit (%) und die Lichtstrahlung (PAR, 400-700nm) werden kontinuierlich mit Hilfe von Sensoren (T und LF, DeltaOhm LR35; PAR, Apogee PQ-500) an den Pflanzen, unter den Paneelen und in den Kontrollzonen gemessen. Drei PAR-Lichtsensoren werden in jeder der vier Zonen direkt über den Pflanzen installiert. Zwei Temperatursensoren und zwei Luftfeuchtigkeitssensoren werden in jeder der vier Zonen direkt über den Pflanzen installiert. Ein PAR-Sensor, zwei Temperatursensoren und zwei Luftfeuchtigkeitssensoren werden auch im Freien positioniert, um diese Parameter ausserhalb der Anlage zu messen. Der Wassergehalt des Bodens im Wurzelbereich wird kontinuierlich mit Sensoterra Sonden (15 und 30 cm Tiefe) gemessen.

3.2 Agronomische Messungen

Alle agronomischen Messungen werden in einer ersten Phase von drei Jahren von Agroscope durchgeführt und ausgewertet.

Die Sommerhimbeersorte 'Tulameen' wird jedes Jahr in Form von vorkultivierten Pflanzen (long cane) gepflanzt. Die Pflanzen werden auf Dämmen mit 6 Ruten pro Laufmeter angebaut. Der Einfluss der Agri-PV-Anlage respektive der Verschattung auf die Beerenkultur werden beobachtet. Daten zu Pflanzengesundheit, Schädlingsbefall, Qualität und Ertrag werden laufend sowohl innerhalb der Anlage als auch in der Kontrollparzelle erhoben. Für jede Zone werden die Messungen in 4 unabhängigen räumlichen Wiederholungen von 5 m Länge durchgeführt.

3.3 Messungen zur Bodenfruchtbarkeit

Da die Agrotrack-Anlage nicht vor der Anpflanzung der Himbeeren fertiggestellt werden konnte und aufgrund der Verwendung von Substrat für die Kultur, wird am Ende des Projekts eine Analyse der Bodenqualität durchgeführt (Gehalt an Makro- und Mikronährstoffen, Gehalt an organischer Substanz, pH-Wert, Gesamtmikrobenaktivität). Die Daten werden verglichen, um allfällige Unterschiede zwischen den Anlagen festzustellen.



3.4 Messung des Stromertrags

Die drei Anlagen werden eine Gesamtleistung von 627.8kWp haben und somit geschätzt 500 MWh pro Jahr Strom produzieren. Für die Anlagen wurde durch die Berner Fachhochschule ein Messkonzept entwickelt, welches ermöglicht, die Einflussfaktoren der Pflanzen auf die Stromproduktion zu beurteilen. Vier Fragen werden dabei genauer untersucht:

- Wie kann der Jahresertrag der Anlagen maximiert werden?
- Wie beeinflusst die Agrarproduktion die Stromproduktion?
- Wie gross ist der Vorteil von MPP-Tracking auf Modulebene bei Agri-PV-Anlagen im Vergleich zu konventionellen PV-Anlagen?
- Wie gut eignen sich bestehende Simulations- und Berechnungsmodelle zur Modellierung des Stromertrags in Agri-PV-Anlagen?

Um diese Fragen zu beantworten, werden von den Wechselrichtern die Daten der einzelnen Eingänge (Strings) erfasst und analysiert. Zusätzlich wurde von jeder der drei Teilanlagen ein String mit Optimizern ausgestattet und auf einen separaten Messwechselrichter geführt. Dies ermöglicht eine Erfassung/Auswertung der Daten auf Modulebene. Die 5-minütigen Daten der Photovoltaik-Stromerzeugung werden während der ersten drei Jahre gesammelt und analysiert.

Zum Erfassen der Meteodaten vor Ort wurden zusätzlich Wetterstationen/Einstrahlungsmessgeräte und Temperatursensoren verbaut. Es sind sowohl Pyranometer von Kipp & Zonen als auch von Apogee im Einsatz. Dies teilweise redundant, damit ein Abgleich der Geräte bzw. der vorhandenen Einstrahlung stattfinden kann. Weitere Daten liefern die Wind- und Neigungsmessungen der einzelnen Anlagen.



4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Meilenstein	Meilenstein erreicht	Meilensteine in der Zukunft	Erläuterung, Nachweis	Bemerkung, Gründe
<p>Anfang Jahr 2023 Baubewilligung in offizieller Form erhalten. Bauvorbereitungen und Bau der Leitungen für den Netzanschluss ausgeführt. Sicherung und Anschluss ans Netz sind erfolgt.</p> <p>Bau der Anlage Insolagrün durch Insolight SA, PV-Anschluss ans Netz im 1. Juni 2023.</p> <p>Anlage Agroverti erstellt und funktionsfähig.</p> <p>Agrotrack erstellt und ans Netz angeschlossen</p> <p>Zwischenstruktur in Agrotrack erstellt und ans Netz angeschlossen</p> <p>Funktionen von Agrotrack in Betrieb</p>	<p>06/2023</p> <p>06/2023</p> <p>04/2024</p> <p>08/2024</p> <p>10/2024</p>		<p>Berichte am 23.2.23 am 6.11.23 und am 2.9.2024.</p>	<p>Lieferung Material verspätet. Baubeginn ab Januar 2024, sobald es der Zustand des Bodens zulässt.</p>
<p>Die Himbeeren sind unter den Agri-PV-Anlagen gepflanzt</p> <p>Der Beginn der agronomischen und Photovoltaikmessungen</p>	<p>5/2023 und 5/2024</p> <p>Frühjahr 2024</p>			<p>Forschung vorwiegend über zwei Anlagen und Kontrollfläche, bei Agrotrack fehlen noch die programmierten Trakerfunktionen bis Oktober 2024</p>
<p>Auswertungen des ersten Betriebsjahres bezüglich Beerenqualität, Erntemenge sowie des Stromertrags liegen vor. Erste vorsichtige Bewertungen der verschiedenen Anlagentypen für die Praxis.</p>	<p>15.12.2024</p>			
<p>Demonstrationsmaterial (Internetseite) ist erstellt und die Anlage wird Bauern und weiteren interessierten Kreisen bei regelmässigen Anlässen vorgestellt. Das Projekt stösst auf Interesse bei Bauern und Investoren.</p> <p>Forschung, Messungen und Auswertungen gemäss Ergebnissen und Auswertungen des ersten Jahres</p>	<p>31.12.2024</p> <p>31.12.2024</p>		<p>Von Juni 2023 bis November 2024 haben 32 Besuche, Anlässe und Führungen stattgefunden, meistens in Gruppen von 5-50 Personen (Details s. 8. Kommunikation).</p>	<p>Internetseite: agri-pv.bioschmid.ch</p> <p>bioschmid führt eine Besucherliste</p>
<p>Eine vorläufige Auswertung wird erstellt. Es wird entschieden, ob und in welcher Form das Projekt zur Forschung weitergeführt wird. Die Installationen bleiben bestehen, damit sie weiter produzieren und amortisiert werden können.</p>		<p>Dezember 2026</p>		<p>Auswertung und Ausblick</p>

Tabelle 2: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse



4.1 Erfahrungen und Ergebnisse Landwirtschaftsbetrieb

2024 war ein anspruchsvolles Jahr. Das nasse Frühjahr war schwierig für Bodenvorbereitung und Pflanzung. Unter den Anlagen Insolagrín und Agrotrack war es in der Pflanzreihe trocken (da permanent abgedeckt), dazwischen in der Fahrgasse aber sehr nass (schwierig für die Fahrzeuge). In der Anlage Agroverti und in der Kontrollfläche waren die Bodenverhältnisse nass. Es wurde in drei Etappen gepflanzt. Die erste Pflanzung hat 8-10 Tage später als normal stattgefunden. Entsprechend war auch der Erntebeginn später als erwartet, erst nach dem 20. Juni.

Der Ertrag war bei allen Anlagenteilen gering. Es wurden insgesamt ca. 5.5t für den direkten Verkauf (erste Qualität) geerntet, 1t wurde tiefgefroren (mindere Qualität). Gründe für den geringen Ertrag waren die schwierigen Bedingungen bei der Pflanzung und Probleme mit der Bewässerung. Für eine Verbesserung wurden bereits Massnahmen getroffen. Optimierung der Bewässerung und gute Bewurzelung sind Schwerpunkte für 2025. Ziel ist 8-10t zu erreichen und damit fast eine Verdoppelung des Ertrags.

Die Anlagen haben technisch gut funktioniert und waren mehrheitlich störungsfrei. Wir haben spät umgestellt auf Pflanzenmodus (Anlagen optimal auf Pflanzen ausgerichtet). Es gab 2024 keine Probleme mit Frost, deshalb gibt es noch keine Erfahrungen bezüglich Frostschutz durch die Anlagen. Gegen Ende der Erntezeit ist wahrscheinlich mehr Schatten möglich. Dies kann aber nicht differenziert innerhalb eines Anlageteils gesteuert werden. Die Pflanzen wurden von Ende Juli bis Ende September abgeräumt. Der Wintermodus (optimal auf Stromproduktion ausgerichtet) ist erst ab November eingestellt worden, damit der Boden besser abtrocknen kann.

Agrotrack ging am 20.4. 2024 ans Netz. Die Zwischenstruktur haben wir während der Saison aufgebaut, das war nicht ideal, weil schon gepflanzt war. Bei der Agrotrack-Anlage gab es noch Probleme mit den Funktionen, sie ist erst seit November im richtigen Betriebsmodus, bis dann wurde manuell reguliert. Der Windsensor hat noch nicht funktioniert.

Der Wintermodus kann bis zur nächsten Pflanzung und sogar noch wenig darüber hinaus aktiv bleiben. Das Programmieren der zusätzlichen Funktionen des Agrotrack sind noch am Laufen. Berücksichtigt werden muss dabei auch der Einfluss auf den Wasserhaushalt im Boden, um die Befahrbarkeit zwischen den Reihen zu verbessern. Ebenso muss die Möglichkeit eines einfachen manuellen Übersteuerns für Pflege und Erntearbeiten realisiert werden. (Während der Ernte kann durch gezieltes Verschatten im Tagesverlauf das Erwärmen der Früchte verzögert werden. Damit kann das Zeitfenster zum Pflücken verlängert werden. Dies ist bei Arbeitsspitzen ein Vorteil.

bioschmid gmbh hat ein Sicherheitskonzept entworfen für die Arbeiten unter den Anlagen. Der Hauptfokus liegt beim Personenschutz. Bisher gibt es noch keine Standards. Dieses muss noch mit der Beratungsstelle für Unfallverhütung in der Landwirtschaft (BUL) besprochen werden.



4.2 Erfahrungen und Ergebnisse landwirtschaftliche Forschung (Agroscope)

Im Jahr 2024 wurden die agronomischen Messungen an den Himbeeren der Pflanzung des zweiten Zyklus in Woche 20 (Pflanzung am 13. Mai) durchgeführt. Wöchentliche und punktuelle Messungen am Ende des Zyklus wurden durchgeführt. In jeder Zone werden die Messungen an 30 zufällig ausgewählten Pflanzen durchgeführt, die sich in der Mitte jeder Zone befinden.

Monat	Mai				Juni				Juli				August				September							
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
Woche	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	2	9	16	23	30		
Datum 1. Tag der Woche																								
Planung (mit Wachstumsphase) - 'Tulameen', long-canes		Vegetatives Wachstum								Blüte				Ernte										
Pflanzenphysiologische Messungen																								
Entwicklung stadium BBCH	Gerät	Frequenz																						
Entwicklung stadium BBCH	Visuell	1x/W																						
Bilder	Canon EOS	1x/W																						
Wachstum (Länge der Lateralen)	Manuelle Regel	1x/Zyklus																						
Blattfläche + Specific leaf area + Fruchtzählung	Visuell und WD-R3-230 WINDIAS 3 RAPID SYSTEM	1x/Zyklus																						
Morphologie der Blätter	WD-R3-230 WINDIAS 3 RAPID SYSTEM	1x/Zyklus																						
Überwachung von Krankheiten, Schädlingen und Bodeneigenschaften																								
Monitoring Krankheiten	Visuell	1x/W																						
Monitoring Schädlingen	Visuell	1x/W																						
Bodenqualitätsanalyse (Gehalt an Makro- und Mikronährstoffen, Gehalt an organischer Substanz, pH-Wert, Gesamtmikrobenaktivität (FDA))	Externe Analysen (SADEF)	1x/Projekt																						
Analyse von Bodenkrankheiten (DNA multiscan)	Externe Analysen (Eurofins)	1x/Projekt																						
Messungen auf die Fruchtproduktion																								
Ertrag (Potenzial)	Standardwaage	1x/Zyklus																						
Fruchtgewicht	Standardwaage	1x/W																						
Zuckergehalt	Digitales Brix-Refraktometer (Milwaukee)	1x/Ernte																						
Säuregehalt	Titration (Mettler DL25)	1x/Ernte																						
Festigkeit	FT7 (FirmTech)	1x/Ernte																						

Abbildung 5: Beschreibung der agronomischen Messungen, die auf den einzelnen Wiederholungsflächen im Jahr 2024 durchgeführt wurden.

Während der Saison entwickelten sich die Pflanzen, die unter Agroverti angebaut wurden, etwas schneller als die Pflanzen in der Kontrollzone, InsoLight und später AgroTrack. Das Entwicklungsstadium war bei der Ernte weiter fortgeschritten, was zu einer schnelleren Fruchtbildung und Reifung führte. Insgesamt wies die Kontrollzone die zweithöchste Entwicklungsgeschwindigkeit auf. Es ist anzumerken, dass in der AgroTrack-Zone ein größerer Unterschied in der Phänologie innerhalb einer Reihe festgestellt



wurde, z.B. das Vorhandensein von geschlossenen Knospen und die Entwicklung von Früchten innerhalb derselben Pflanze.

Am Ende des Anbaus wurden 20 Ruten aus jeder Zone zufällig ausgewählt, um die Anzahl der geernteten und nicht geernteten Früchte sowie der Blüten und getrockneten Früchte zu zählen. Alle Zweige, die Früchte trugen, wurden ebenfalls von den Ruten bis zur Basis der am weitesten entfernte Blüte gemessen. Alle Blätter, die an einer Rute vorhanden waren, wurden gesammelt, um die Blattfläche zu messen. Unter den Agri PV Anlagen, die im Jahr 2024 in Betrieb waren, wurden ähnliche Erträge und eine vergleichbare Qualität erzielt wie in der Kontrollzone. Detaillierte agronomische Resultate werden an anderer Stelle publiziert, um beim nächsten Bericht darauf verweisen zu können



4.3 Erfahrungen und Ergebnisse Forschung Photovoltaik (Berner Fachhochschule)

4.3.1 Arbeiten

Die Anlagen Agroverti und Insolight wurden im Jahr 2023 mit Messequipment ausgestattet. Im April 2024 konnte die Agrotrack-Anlage mit den entsprechenden Messgeräten ausgerüstet und erfolgreich in Betrieb genommen werden.

Nach über einem Jahr Betrieb der ersten Messgeräte und den daraus gewonnenen Erkenntnissen in der Datenerfassung wurde im Mai 2024 eine Softwareaktualisierung durchgeführt. Diese ermöglicht es, Fehler in der Datenerfassung besser zu erkennen und zu beheben. Im August 2024 mussten zwei beschädigte Pyranometer ausgetauscht werden, die vermutlich durch ein vorangegangenes Gewitter in Mitleidenschaft gezogen wurden (Schaden an der Elektronik). Gleichzeitig wurde ein Neigungssensor an der Agrotrack-Anlage installiert, um die Erfassung des Neigungswinkels der Anlage zu ermöglichen.

Mit diesen Massnahmen sind nun alle Installationen der Messgeräte abgeschlossen. Die Daten werden automatisch erfasst und an die Datenbank der Berner Fachhochschule (BFH) übertragen. Nachfolgend ist ersichtlich, zu welchem Zeitpunkt die jeweiligen Messungen verfügbar waren sowie der Standort der Messstrings und der Messgeräte.

Gerät	Jan 24	Feb 24	Mär 24	Apr 24	Mai 24	Jun 24	Jul 24	Aug 24	Sep 24	Okt 24	Nov 24	Dez 24
Wechselrichter 1												
Wechselrichter 2												
Wechselrichter 3												
Wechselrichter 4												
Wechselrichter 5												
Wechselrichter 6												
Wechselrichter 7												
Wechselrichter 8												
Wechselrichter 9 MPPT1												
Wechselrichter 9 MPPT2												
Wechselrichter 9 MPPT3												
Wetterstation												
Globaleinstrahlung												
Einstrahlung Agroverti												
Einstrahlung Insolight												
Einstrahlung Agrotrack												
Temperatursensor Agroverti												
Temperatursensor Insolight												
Temperatursensor Agrotrack												
Neigungssensor Agrotrack												

Nicht in Betrieb

Tracker nicht in Betrieb

In Betrieb

Abbildung 6: Status der verschiedenen Geräte Im Sommer 2024 wurden ausserdem die Zwischenreihen der Agrotrack-Anlage mit PV-Modul-Dächern ausgestattet. Diese sind an separate Huawei-Wechselrichter angeschlossen, werden jedoch derzeit nicht speziell ausgewertet.

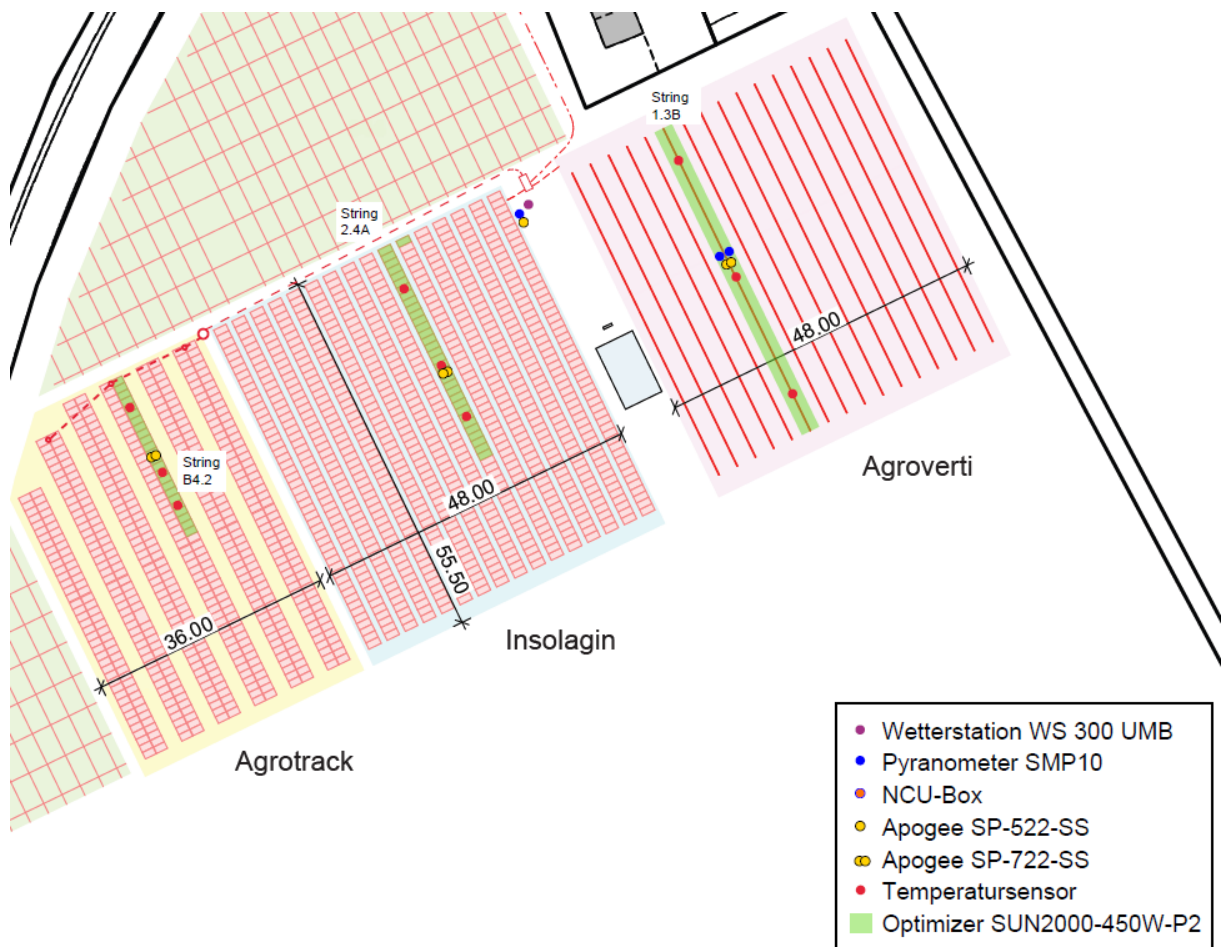


Abbildung 5: Standort der Messgeräte und der Messstrings



4.3.2 Auswertung

Anlagenvergleich

Für die erste Auswertung der Energieproduktion wird der Zeitraum vom 1. Januar bis zum 30. November 2024 gewählt. Die Anlage Agrotrack sowie die zugehörige Zwischenstruktur wird dabei nur in der Gesamtproduktion berücksichtigt, da die Trackingfunktion erst seit Mitte Oktober vollständig in Betrieb ist und die Module der Zwischenreihen erst seit September produzieren.

In diesem Zeitraum konnte die Gesamtanlage Bioschmid insgesamt eine Produktion von 447 MWh erzielen. Die einzelnen Anlagenteile tragen wie folgt zur Produktion bei:

- 110 MWh durch Agroverti
- 160 MWh durch Insolight
- 150 MWh durch Agrotrack (geringere Produktionszeit als bei anderen Systemen)

Zusätzlich produzierten die Strings des Messwechselrichters 19 MWh, während die Zwischenstruktur der Agrotrack-Anlage einen Beitrag von 8 MWh leistete.

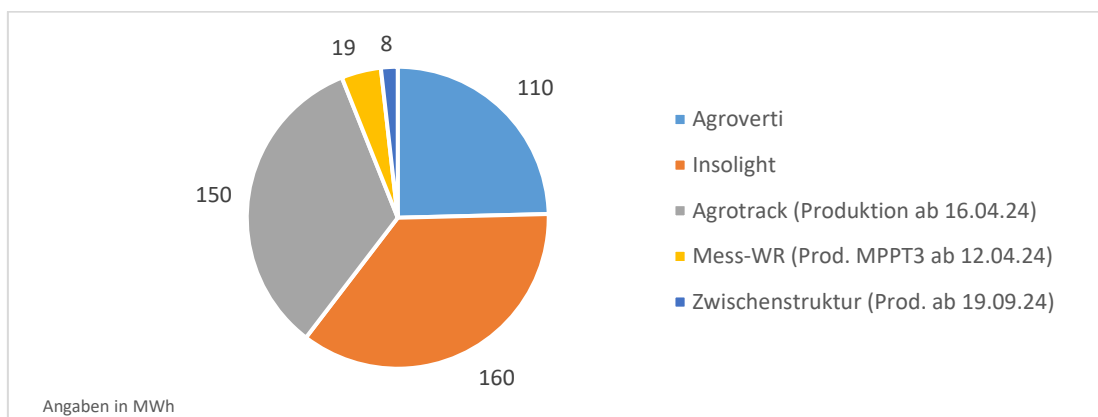


Abbildung 7: Aufteilung der Gesamtproduktion auf die Teilanlagen

Nachfolgend wird auf die Agroverti- und die Insolight-Anlage genauer eingegangen, da diese seit Jahresbeginn 2024 in Betrieb sind.

	Agroverti	Insolight
Produzierte Energie ¹ [MWh]	109.9	159.6
Flächenertrag ² [kWh/m ²]	44.6	63.9
Spez. Ertrag ² [kWh/kWp]	884.6	1'063.8

Tabelle 3: Vergleich Energieertrag von Agroverti und Insolight

¹ An der AC-Seite des Wechselrichters

² Am DC-Eingang des Wechselrichters



Im absoluten Gesamtertrag produzierte die Insolight-Anlage somit rund 45 % mehr Energie als die Agroverti-Anlage. Dies widerspiegelt sich auch im Flächenertrag, da die beiden Anlageflächen identisch gross sind. Allerdings ist der spezifische Ertrag in kWh/kWp nur um ca. 20 % höher. Zu beachten ist, dass für die Berechnung der produzierten Energie wie auch für den Flächenertrag die gesamte Teilanlage ohne Messstrings berücksichtigt wurde. Bei der Berechnung des spezifischen Ertrages wurden nur Strings betrachtet, die keine Randeffekte aufweisen. Das heisst, die erste und die letzte Reihe der Teilanlage wie auch der MPPT-Eingang mit nur einem angeschlossenen String wurden nicht berücksichtigt.

Auswirkungen Optimierer

Bei der Analyse der Auswirkung von Optimierer zeigt sich, dass die Optimierer über die ersten elf Monate des Jahres keinen positiven Einfluss auf den Energieertrag der Anlage hatten. Bei der Agroverti-Anlage resultiert über den gemessenen Zeitraum ein Minderertrag von 0.5 %, bei der Insolight-Anlage ein Minderertrag von 7 %. Wird nur die Periode Mai bis Oktober betrachtet ergibt sich bei der Agroverti ein Mehrertrag von 9 % und bei der Insolight-Anlage ein Minderertrag von 1 %. Als einen ersten Schluss könnte man folgern, dass die vertikale Anlage mit der hohen Eigenverschattung am Morgen und am Abend der Sommermonate aufgrund der Optimierer mehr produziert, dies aber in den restlichen Monaten sowie während der unverschatteten Mittagszeit durch den Minderertrag wieder wett gemacht wird. Bei der Insolight-Anlage entsteht aufgrund der kaum vorhandenen Eigenverschattung das ganze Jahr ein Minderertrag durch die zusätzlichen Verluste der Optimierer. Im Sommer weniger als im Winter.

Der Einfluss der Optimierer auf den Energieertrag wird detaillierter untersucht, wenn längere Messperioden verfügbar sind.

Anlageteil	Spez. Ertrag ohne Optimierung [kWh/kWp]	Spez. Ertrag mit Optimierung [kWh/kWp]
Agroverti	886.6	881.7
Insolight	1060.9	982.2

Tabelle 4: Vergleich des Einflusses von Optimierern

Die verschiedenen Anlagentypen haben aufgrund der verschiedenen Konstruktionsweisen unterschiedliche Tagesprofile bei der Stromerzeugung. Die Agroverti-Anlage erzeugt mit der vertikalen Anordnung der Module und der nahezu ost-/west-Ausrichtung zwei Peaks pro Tag. Einen in den Morgenstunden und einen in den Abendstunden. Wobei am Mittag deutlich weniger Strom produziert wird. Bei der Insolight-Anlage gibt es einen klaren Mittagspeak aufgrund der Modulneigung von 12°. Ein ähnliches Profil zeigt die Agrotrack-Anlage. Allerdings war zum Zeitpunkt des nachfolgend dargestellten Zeitverlaufes das Tracking der Agrotrack-Anlage noch nicht aktiv und der Tisch auf eine fixe Neigung von ca. 0°



eingestellt. Im Falle von stromoptimiertem Tracking, wie die Anlage ausserhalb der Beerenperiode betrieben werden soll, würde sich das Profil in den Morgen- und den Abendstunden zusätzlich etwas anheben.

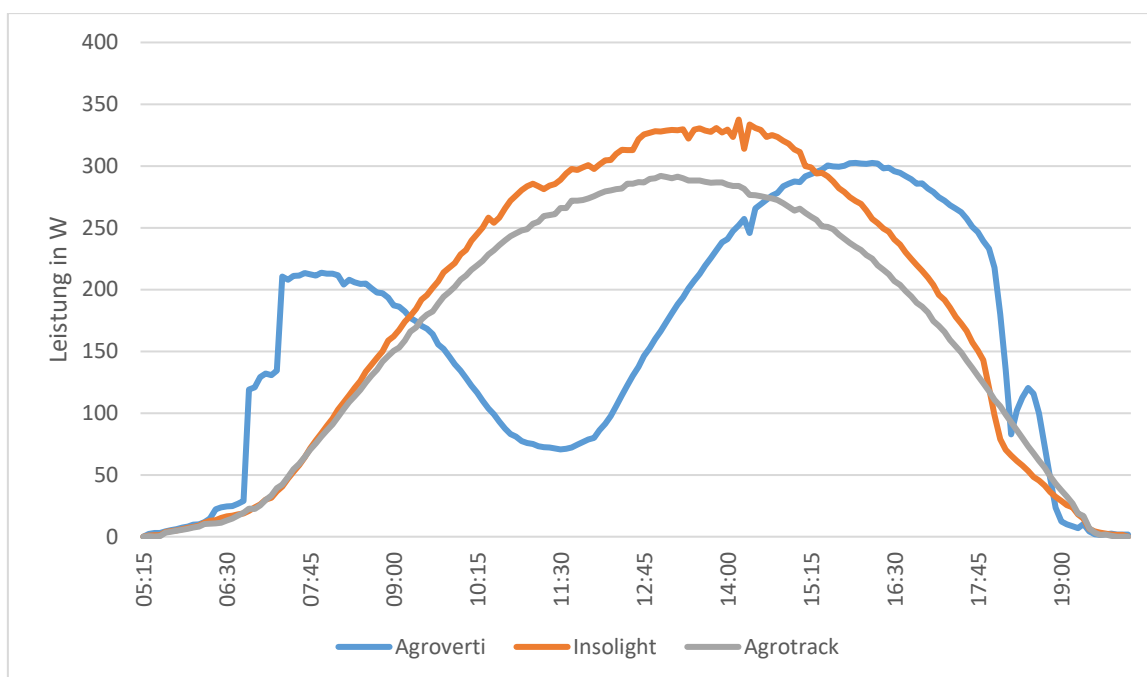


Abbildung 8: Tagesverlauf der Produktion aller drei Anlagen am 10.08.2024 (Optimierer 01/27/44)

Auswirkungen Verschmutzung

Messungen von Leistungseinbusse aufgrund Verschmutzung wurden in der Saison 2024 nicht durchgeführt. Einerseits wird erwartet, dass der Effekt der Reinigung nach zwei Betriebsjahren grösser sein wird und andererseits war die Agrotack-Anlage in diesem Jahr noch im Bau. Bei einer visuellen Überprüfung der Agroverti- und der Insolight-Anlage im November konnte festgestellt werden, dass auf der Oberseite der Insolight-Module in den untersten ca. 5 cm eine Algenbildung stattfindet. Da die Zellen bei dieser Anlage aber relativ weit weg vom Modulrahmen sind (aufgrund der hohen Lichtdurchlässigkeit) sind sie kaum bedeckt. Für 2025 wird nun festgelegt, wann und welche Module gereinigt werden sollen, um die Auswirkungen der Verschmutzung ermitteln zu können.

Vergleich Simulationstools

Alle drei Anlagen wurden 1:1 in den beiden Simulationsprogrammen PVsyst und PVsol abgebildet und der Energieertrag simuliert. Die Agrotack-Anlage wird in der folgenden Auswertung nicht weiter betrachtet, da zu wenig vergleichbare Daten vorliegen. Bei der Auswertung der ersten elf Monate des Jahres zeigt sich, dass bei der vertikalen Anlage der Agroverti eine gute Korrelation zu PVsyst, jedoch



grosse Unterschiede zwischen Messung und PVsol-Simulation resultieren. Die weiteren Simulationen entsprechen mit geringen Abweichungen den effektiv vorhandenen Messungen.

Anlageteil	Messung [MWh/a]	PVsyst [MWh/a]	PVsol [MWh/a]
Agroverti	109.9	110.9 (+1%) ³	151.1 (+37%) ³
Insolight	159.6	157.7 (-1%) ³	155.8 (-2%) ³

Tabelle 5: Vergleich der Produktionen aus Messung und Simulation

Der Hauptgrund für die Abweichung bei der PVsol-Simulation liegt in der Ermittlung der Einstrahlung auf die Module. Beide Simulationsprogramme gehen von der nahezu gleichen horizontalen Einstrahlung aus. Es resultiert aber eine Abweichung in der PV-Feld-Nennenergie (Einstrahlung, welche effektiv auf die PV-Module trifft) von rund 34 %. Ein möglicher Grund für diese Abweichungen ist die Annahme von unterschiedlichen Bifazialitätsfaktoren und die Berücksichtigung von Verschattung auf der Modulrückseite. PVsol nimmt einen Bifazialitätsfaktor von 90 % an, PVsyst von 70 %. Genauer sollen diese Unterschiede in der Auswertung zur Messperiode 2025 analysiert werden.

Nachfolgend sind die monatlichen Produktionen der zwei Anlagen dargestellt. Es wird ersichtlich, dass PVsol bei der Agroverti in den Sommermonaten deutlich zu viel Energieertrag simuliert. Bei den anderen Simulationen resultiert mal ein Mehr-, mal ein Minderertrag bezogen auf die effektive Messung.

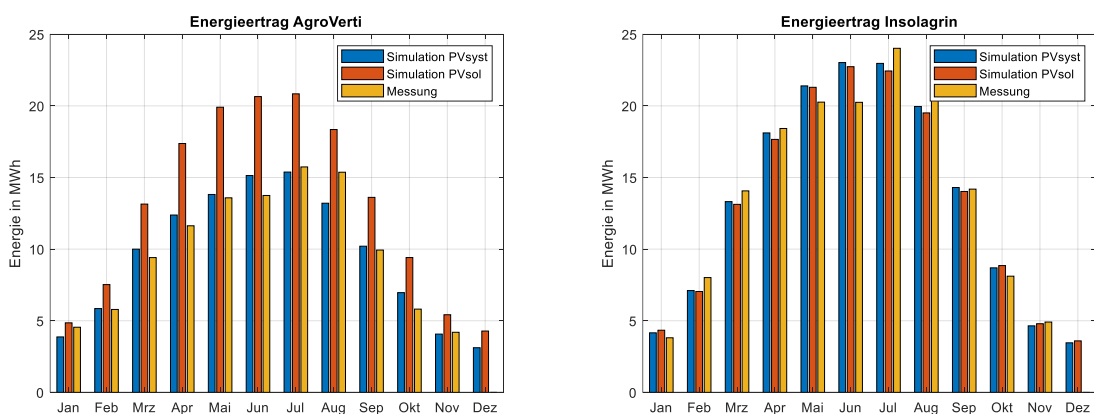


Abbildung 9: Vergleich der monatlichen Produktion der zwei Anlagen mit den Simulationsprogrammen

³ Abweichung bezogen auf die Messung



Ausblick

In der Messperiode 2025 sollen diese ersten Erkenntnisse erstmals über ein ganzes Jahr überprüft und vertieft werden. Es wird zusätzlich auch die Agrotrack-Anlage ausgewertet und verglichen. Damit allfällige Fehler, Betriebsunterbrüche oder auch Einstellungsanpassungen bei den Anlagen in den Auswertungen berücksichtigt werden können, wurde für das Jahr 2025 ein Anlagejournal eingeführt. Dieses steht allen Partnern zur Verfügung, um relevante Ereignisse festzuhalten.

Ebenso sollen künftig Agrivoltaik-spezifische Energieertragsthemen untersucht werden, beispielsweise die Inhomogenität der Einstrahlung als Funktion der Vegetationsperiode oder der saisonal abhängige Verschmutzungsdruck der verschiedenen Systeme.



4.4 Erfahrungen und Massnahmen der Solarfirmen

4.4.1 Insolight

Durch regelmässige Kontrollen der Mikroklima- und Stromdaten konnte überprüft werden, ob die Steuerung der Schirmanlage wie geplant gemäss den zu Jahresbeginn festgelegten Parametern für den Tulameen-Anbau in Aesch erfolgte. Insolight hat in Absprache mit Bioschmid die Betriebsarten des reflektierenden Schirms (Strommodus oder Pflanzenmodus) der Insolagrín-Anlage aktiviert. Das System funktionierte im Jahr 2024 wie geplant und die Sonnenschutzfunktion wurde in Zeiten grosser Hitze, beispielsweise im Juli und August, automatisch aktiviert, was dazu beitrug, unter Insolagrín ein milderes Mikroklima als in der Kontrollzone aufrechtzuerhalten. Basierend auf den Ergebnissen des Jahres werden die zu Beginn des Jahres gewählten Einstellungen validiert und bieten einen zusätzlichen Referenzpunkt für die Systemvalidierung.

Die von den Sensoren erfassten Daten werden den Projektpartnern über das von insolights Webinterface zur Verfügung gestellt.

Für die Systemsicherheit hat Insolight neue Sensoren installiert und ein Update der Steuerungssoftware entwickelt und implementiert, um schlechtes Wetter (Wind und Schneefall) für das Schattierschirmsystem sicherer zu bewältigen.

Diese Validierungen und Entwicklungen ermöglichen es, das von insolights bereitgestellte System für den Anbau von Beeren auf dem Markt zu konsolidieren.

4.4.2 Megasol

Megasol hat den modifizierten Solartracker Anfang Mai in Betrieb genommen. Primär wurde vorerst die softwaremässig die Solartracking installiert. Bei diesem Modus steht die Stromerzeugung im Vordergrund. Der Pflanzenmodus ist noch in Entwicklung, sodass im Sommer über den manuellen Modus die Anlage übersteuert wurde, damit die Pflanzen genügend Licht hatten. Zudem waren auch noch sicherheitsrelevante Einstellungen der Windmessung, die über den Sommer erledigt wurden. Ebenso wurde durch die Realisierung der Zwischenstruktur baubedingt die Anlage im manuellen Modus geführt.



5 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

In beiden Baujahren, im März und April 2023 und 2024 hat es sehr viel geregnet und der Landwirtschaftsbetrieb musste zusätzliche Massnahmen treffen, damit durch das Befahren der Parzellen Schaden am Boden vermieden werden konnte.

Erschwert war durch das nasse Wetter in beiden Frühjahren auch die Bodenbearbeitung und die Pflanzung der Himbeerruten.

Die Kosten für den Bau halten sich im budgetierten Rahmen. Der Aufwand für die Projektleitung war jedoch während der Aufbauphase höher als geplant. Dieser Aufwand wird sich in den übrigen Jahren reduzieren.

Die Anlagen Insolagrín und Agroverti produzieren seit Juni 2023 Strom und die Anlage Agrotrack seit April 2024 (s. auch Ergebnisse der Berner Fachhochschule zum Stromertrag 2024 in Kapitel 3). Die Produktion liegt im Bereich der im Voraus geschätzten Gesamtmenge. Es ist noch kein Abnehmer für einen längerfristigen Vertrag mit einem guten Preis gefunden worden. Somit geht der Strom und der Verkauf an die lokale netzbetreibende Gesellschaft CKW AG. Im Moment ist dort der Preis für Stromlieferungen sehr tief.

Die installierten Messgeräte liefern die für die Regulierung der Anlagen und für die Forschung und notwendigen Daten. Die Dokumentierung aller Massnahmen in den Anlagen in einem gemeinsamen Journal liefert die Grundlage für eine gute Koordination für die Arbeiten der verschiedenen Partner.

Die ersten Forschungserhebungen geben bereits Hinweise auf die Auswirkung der zusätzlichen Verschattung auf die Pflanzenentwicklung sowie auf die Menge und Qualität der Beeren.

Zur unterschiedlichen Stromerzeugung der Anlagen in verschiedenen Modi sind erste Aussagen da. Allerdings sind alle Forschungsergebnisse des ersten Jahres noch mit Vorsicht zu geniessen, da sie noch nicht vergleichbar sind.

Der Bau der Anlagen konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Trotz Herausforderungen beim Bauen auf dem freien Feld und wetterbedingten Anpassungen im Zeitplan, traten keine grösseren Probleme auf. Zudem mussten wir keinen Unfall verzeichnen. In den Anlagen gibt es baulich keine Anpassungen mehr. Die Arbeiten an der Software gehen weiter. So ist bei Agrotrack der Pflanzenmodus und bei Insolight die bessere Bedienbarkeit für den Anwender in Entwicklung.

Das Pilotprojekt stösst in der Öffentlichkeit auf grosses Interesse und wir erhalten immer wieder Anfragen für Führungen. Im 2023 und 24 haben insgesamt 32 Führungen und Anlässe in der Anlage stattgefunden (s. Kapitel 7 Kommunikation).



6 Weiteres Vorgehen

Die Forschungsarbeiten von Agroscope und Berner Fachhochschule werden bis Ende 2026 weitergeführt.

Im April und Mai werden die Himbeeren jeweils in Absprache mit Agroscope gestaffelt gepflanzt, so dass sich in allen drei Agri-PV Anlagen und in der Kontrollfläche eine vergleichbare Versuchssituation ergibt.

Die Arbeiten im Himbeeranbau werden durch den Landwirtschaftsbetrieb ab der Planung und der Bestellung der Pflanzen bis zur Ernte, zum Ausreissen der Ruten in allen Anlagenteilen in Absprache mit Agroscope durchgeführt. Verbesserungen in der Kulturführung sollen im 2025 zu einem besseren Ertrag führen. Das Sicherheitskonzept wird auf die Saison 2025 fertiggestellt und umgesetzt.

Möglichkeiten für Verträge für die Stromabnahme werden geprüft, sodass spätestens ab 2026 eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch einen stabileren Strompreis erreicht werden soll.

Weiterhin werden Besichtigungen und Führungen des Pilotprojekts durchgeführt. Sie geben der regionalen Bevölkerung und interessierten Kreisen die Möglichkeit, sich ein Bild zu verschaffen über das Pilotprojekt.



7 Kommunikation

Schon vor der Baueingabe wurden die Gemeinde Aesch, die Anwohner und die Bewirtschafter-Nachbarn sowie Umweltverbände informiert.

Seit Juni 2023 ist eine Internetseite mit Informationen zum Projekt aufgeschaltet (<https://agri-pv.bioschmid.ch/>). Die Internetseite wird laufend aktualisiert.

Die unterstützenden Institutionen sind im Juli und November 2023 sowie im September 2024 über den Fortschritt des Projekts informiert worden.

Das Pilotprojekt stösst in der Öffentlichkeit auf grosses Interesse und wir erhalten immer wieder Anfragen für Führungen. 32 Besuche und Führungen und weitere Anlässe haben seit Juni 2023 stattgefunden. Unter den Besuchern sind Privatpersonen, Firmen, Gemeinderäte Aesch, Presse, Künstler, SECO mit Delegation aus Indonesien von Bildungs- und Energieministerium, Hochschule Luzern Institute of Innovation and Technology Management mit Studierenden, Fachgruppe Agri-PV von Swissolar, kantonale Verwaltung AG und Landwirtschaftsamt LU, Bäuerinnen- und Bauernverein LU, Agridea, Swissolar, Forschungsgruppe Pflanzenschutzmittel Agroscope, Energieapero Luzern, div. Medien und Agrarmedien, Solargenossenschaft Hägglingen.

Am 20.3.2024 fand bei schönstem Wetter eine Veranstaltung zum offiziellen Projektstart mit geladenen Gästen statt und am 22.6.2024 ein grosser öffentlicher Anlass "Tag des offenen Beerenfeldes" mit über 150 Besuchern, leider an einem kühlen Regentag.

Total haben bisher über 400 Personen das Projekt besucht.

Am letzten Partneraustausch im November 2024 wurden zum ersten Mal die Erfahrungen und Ergebnisse aus der Saison 2024 intern präsentiert.



8 Literaturverzeichnis

- Axel Weselek, Andrea Ehmann, Sabine Zikeli, Iris Lewandowski, Stephan Schindele, Petra Högy; 2019. **Agrophotovoltaic systems: applications, challenges and opportunities. A review.** INRA and Springer-Verlag France SAS, part of Springer Nature 2019
- SOV-Statistik 2020; <https://www.swissfruit.ch/de/jahresbericht-2020/>
- Laub, M., Pataczek, L., Feuerbacher, A., Zikeli, S., & Högy, P. (2022). Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), 1–13. doi:10.1007/s13593-022-00783-7
- Adeg et al. 2018; Marrou et al. 2013; Christ et al. 2021, Projekt "insolagrün", unveröffentlicht
- Jäger, Mareike; Vaccaro, Christina; Boos, Jürg; Junghardt, Johann; Strebel, Sven; Anderegg, Dionis; Rohrer, Jürg; Schibli, Beatrix, 2022. **Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft.** Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.21256/zhaw-25624>
- Jäger, Mareike, 2021. **Agro-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft : Machbarkeitsstudie untersucht Potenziale und Risiken.** IUNR Magazin. 2021(1), S. 23. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.21256/zhaw-22658>