

Agri-Solarthermie-Systeme: Effiziente Kombination von Freiflächen-Solarthermie und landwirtschaftlicher Nutzung durch bifaziale Flachkollektoren

Thorsten Summ, Christoph Trinkl, und Wilfried Zörner

Institut für neue Energie-Systeme (InES) der Technischen Hochschule Ingolstadt,
Esplanade 10, 85049 Ingolstadt, Deutschland

E-Mail: Thorsten.Summ@thi.de

Internet: <https://www.thi.de/go/energie>

1. Hintergrund

Mit der fortschreitenden Entwicklung der großflächigen Solarenergienutzung auf Freiflächen rückt die Nutzungskonkurrenz zwischen der solaren Energiegewinnung und der landwirtschaftlichen Nutzung dieser Ackerflächen zunehmend in den Fokus [1, 2]. Im Bereich der Photovoltaik werden daher seit geraumer Zeit sogenannte Agri-Photovoltaik-Systeme (Agri-PV) entwickelt und im Versuchsstadium erfolgreich umgesetzt [3, 4]. Im Kern wird dabei das Ziel verfolgt, die Stromproduktion mit der landwirtschaftlichen Nutzung zu koppeln, den Flächenverbrauch der energetischen Nutzung damit zu reduzieren und die Landnutzungsrate deutlich zu erhöhen.

Das Konzept von Agri-PV hat seine Wurzeln im Jahr 1981, als Goetzberger und Tastrow [5] die Idee vorstellten, Kartoffeln unter einem Kollektorfeld anzubauen. Allerdings hat sich dieses Konzept erst 2013 durchgesetzt [4]. Bei diesem Anlagentyp steht die landwirtschaftliche Nutzung im Vordergrund und darf durch die Stromerzeugung nicht oder nur unwesentlich beeinflusst werden. Dies wurde auch in der ersten Norm DIN SPEC 91434 festgehalten [6]. Um nun sowohl die landwirtschaftlichen Erträge als auch die Stromproduktion zu maximieren, muss ein entsprechend techno-ökonomisch fundiertes Systemdesign gewählt werden.

Die erste Möglichkeit, landwirtschaftliche Nutzung und Photovoltaik auf derselben Fläche zu kombinieren, besteht darin, die PV-Module über der landwirtschaftlichen Fläche als eine Art Dachkonstruktion zu installieren (Abbildung 1). In diesem Fall werden Reihen von robusten (Stahl-)Stützen in einem frei wählbaren Abstand errichtet. Die Abstände zwischen den Reihen werden so gewählt, dass sich die Anlage in die jeweilige landwirtschaftliche Bewirtschaftung einfügt und diese nur minimal beeinträchtigt. Die sich hierdurch ergebende Beschattung kann sich sogar positiv auf den Feldertrag auswirken [4]. Ein geeignetes Optimum zwischen maximalem landwirtschaftlichem Ertrag und Solarertrag sowie einer Minimierung der Systemkosten bzw. Maximierung evtl. Einspeisevergütungen muss entsprechend gefunden werden. Die Errichtung des Systems erfolgt mit Hilfe verschiedener Fundamente, wie z.B. Schraubfundamente oder Rammfundamente, die so im Boden verankert werden, dass sie der Gesamtkonstruktion auch bei wechselnden Windlasten eine ausreichende Stabilität verleihen. Betonfundamente werden in diesem Fall nicht verwendet, da sie die Ökologie und Bearbeitbarkeit des Bodens langfristig stören können [3].



Abbildung 1: Testanlage einer hoch-aufgeständerten Agri-PV-Anlage auf einem Ackerfeld. [4]



Abbildung 2: Bifaziales Agri-PV-System mit landwirtschaftlicher Nutzung zwischen vertikal aufgeständerten Modulreihen [7]

Diese Art der Installation ist im Vergleich zu herkömmlichen Freiflächenanlagen teurer [4]. Aus diesem Grund trug die Firma Next2Sun in den letzten Jahren maßgeblich dazu bei eine andere Art von Agri-PV zu betreiben, bei dem die Module vertikal ausgerichtet sind, sodass sie jeweils die Hälfte des Tages von einer Seite bestrahlt werden [7]. Dieses sogenannte bifaziale Agri-PV-System benötigt keine hoch-aufgeständerten Stützen, wie in Abbildung 2 zu sehen, erfordert jedoch beidseitig nutzbare, d.h. bifaziale Module. Zwischen den Reihen steht die Ackerfläche weiterhin für den Anbau von bspw. Nahrungsmitteln oder Futtermitteln zur Verfügung. Der Einsatz landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge wird weiterhin ermöglicht. Diese vertikale Installation erfordert, dass die Kollektoren nicht nach Süden, sondern nach Osten und Westen ausgerichtet werden. Daher hat die Anlage ihre Leistungsspitze zeitlich betrachtet vor und nach der Mittagssonne.

Auch in der Solarthermie (ST) werden insbesondere für Nah- und Fernwärmenetze oder industrielle Anwendungen zunehmend große Anlagen auf Freiflächen realisiert [8, 9]. Da es sich in der Regel um landwirtschaftlich genutzte Flächen handelt, besteht auch hier das Problem der Nutzungskonkurrenz [10, 11]. Eine solarthermische Umsetzung des beschriebenen bifazialen Systemkonzepts existiert bisher aber nicht, unter anderem weil geeignete Solarkollektoren für eine bifaziale Nutzung nicht verfügbar sind.

2. Bifaziales Agri-Solarthermie Anlagenkonzept

Vor diesem Hintergrund wird am Institut für neue Energie-Systeme (InES) der Technischen Hochschule Ingolstadt (THI) gemeinsam mit europäischen Partnern eine neuartige, bifaziale Agri-Solarthermieranlage entwickelt. Das System besteht aus vertikal installierten, bifazialen Kollektoren und ist mit der landwirtschaftlichen Nutzung kompatibel (Abbildung 3). Es verspricht hohe Effizienz bei geringem Platzbedarf.

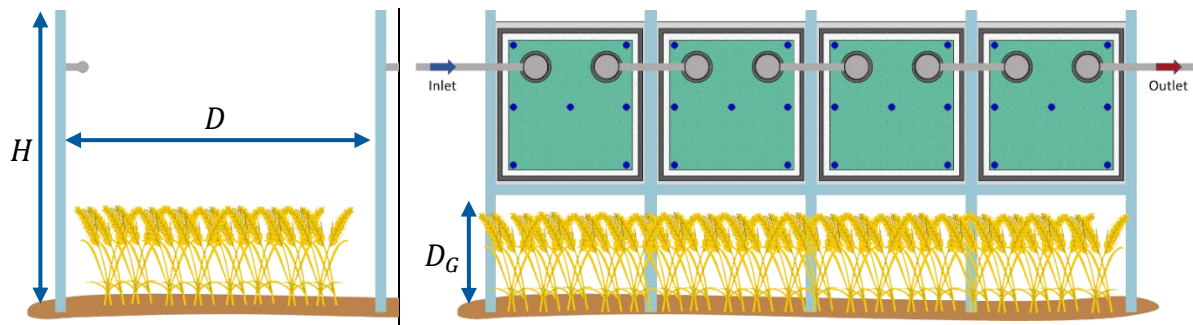


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer bifazialen Agri-ST-Anlagenanordnung auf einer landwirtschaftlichen Fläche (links: zwei Kollektorreihen mit der dazwischen liegenden Getreideanbaufläche; rechts: Seitenansicht einer Kollektorreihe mit vier in Reihe geschalteten Kollektoren)

Die für das Systemkonzept erforderlichen Solarkollektoren basieren auf der hochautomatisierten Produktionstechnologie für Isolierglaskollektoren (Abbildung 4 und Abbildung 5), die in den vergangenen Jahren am InES weiterentwickelt wurde. Bei den Isolierglaskollektoren ist ein hochselektiv beschichteter Absorber zwischen zwei Glasscheiben eingehaust. Durch die systemimmanente und im Fertigungsprozess integrierte hermetische Abdichtung des Kollektors ist eine Edelgasfüllung zur Wärmedämmung möglich. Aufgrund der beidseitig transparenten Abdeckung ist auch eine thermische Nutzung der Kollektorrückseite realisierbar.

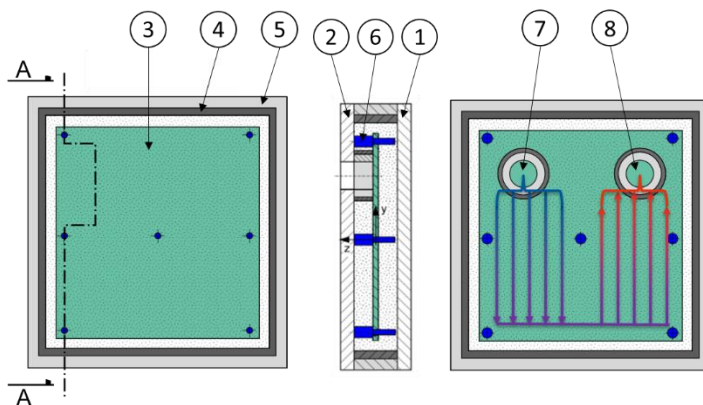


Abbildung 4: Vereinfachte Skizze eines solarthermischen Isolierglaskollektors. ❶ vordere Glasscheibe, ❷ hintere Glasscheibe, ❸ Absorber, ❹ Primärversiegelung, ❺ Sekundärversiegelung, ❻ Abstandshalter, ❼ Einlass, ❽ Auslass



Abbildung 5: Isolierglaskollektor-Prototypen auf dem Prüfstand in den Laboren der THI

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen herkömmlichen Freiflächenanlagen und Agri-ST Systemen ist der Flächenbedarf. Herkömmliche Anlagen verwenden Kollektoren mit Breiten von ca. 2,5 m bis 4 m¹, und werden mit typischen Aufstellwinkeln zwischen 30° und 60° installiert. Dies führt zur Bedeckung einer Fläche von ca. 1,3 m bis 3,5 m unterhalb der Kollektoren. Eine vertikale Aufstellung führt entsprechend zu signifikant geringerem Flächenbedarf, zumal die Dicke der Isolierglaskollektoren lediglich 5 cm beträgt. Vor dem Hintergrund der Flächennutzungseffizienz muss unterschieden werden, zwischen der Nettofläche, die das Kollektorfeld auf der Freifläche einnimmt und der Bruttofläche, welche das gesamte Kollektorfeld inklusive Abstandsflä-

¹ Vakuumröhrenkollektoren werden häufig in zwei Reihen hintereinander, in einer Ebene installiert.

chen einnimmt. Auf Basis der Voruntersuchungen ergibt sich ein benötigter Netto-Flächenbedarf von nur 2,13 m² pro MWh und Jahr bereitgestellter Energie und damit eine Reduktion von ca. 68 % gegenüber einer herkömmlichen Aufständerung (vgl. Abbildung 6).

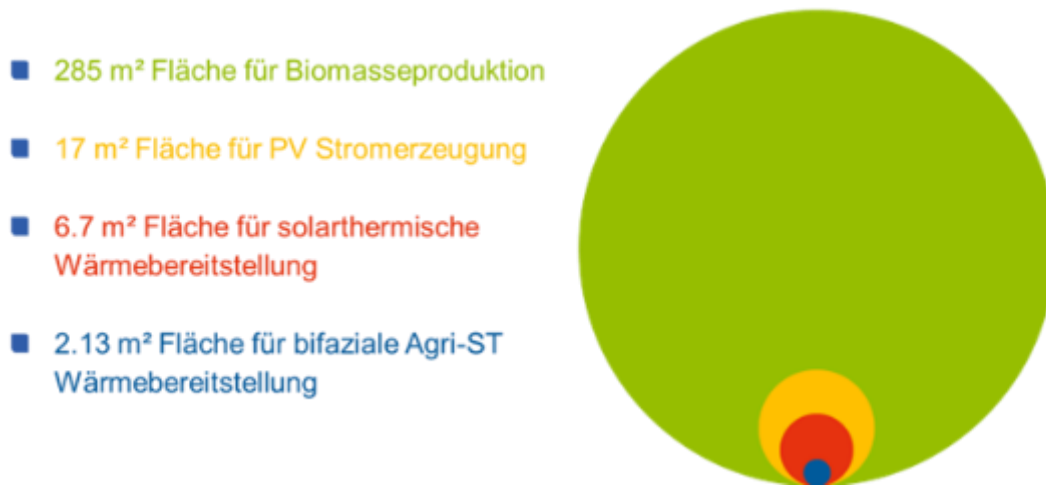


Abbildung 6: Der Netto-Flächenbedarf für 1 MWh pro Jahr für verschiedene Technologien für erneuerbare Energien. Die Daten für die Biomasseproduktion, die PV-Stromerzeugung und die solarthermische Energieerzeugung wurden entnommen aus [12], die Daten für bifaziale Agri-ST aus [13].

Es ist zu beachten, dass die Reihenabstände bei Agri-PV bzw. Agri-ST Systemen größer ausfällt, gegenüber herkömmlichen Anlagen. So werden bei einem großzügig gewählten Reihenabstand von 12 m ca. 4,8 m² Bruttofläche pro m² Kollektorfläche benötigt. Im Vergleich hierzu benötigt ein herkömmliches System bei einem Reihenabstand² von 1,7 m rund 1,5 m² Bruttofläche pro m² Kollektorfläche. Ein wichtiger Unterschied ist jedoch, dass der Abstand zwischen den Reihen der Agri-ST Kollektoren die landwirtschaftliche Nutzung des Bodens ermöglicht, was im herkömmlichen System nicht der Fall ist. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die nach Süden ausgerichtete Anlage die Feldfrüchte tagsüber zu stark verschatten würde, was eine landwirtschaftliche Parallelnutzung stark erschwert. Wie anhand des Bruttoflächenvergleichs dargestellt, liegt das Potential des Agri-ST Konzepts also darin, die vorhandenen Böden effizienter nutzen als herkömmliche Systeme.

3. Erweiterung bisheriger Potentialanalysen

Um die generelle Machbarkeit eines solchen Systems zu untersuchen wurde eine erste analytische Untersuchung der solaren Einstrahlung durchgeführt und vorgestellt [13]. Ein konventionelles, nach Süden ausgerichtetes, Kollektorfeld mit einer Neigung von 45° wurde dabei mit einem bifazialen, vertikal aufgeständerten Feld, mit Ost-West-Orientierung verglichen. Dabei wurden drei Typen technischer Daten einbezogen: Kollektordaten, Wetterdaten und Betriebsdaten. Verschattung und instationäres Anlagenverhalten wurden dabei vernachlässigt. Dabei zeigte sich bereits das beträchtliche Potential des Agri-ST Systemkonzepts in Hinblick auf die spezifischen Solarerträge mit

² gemessen von der Hinterkante der vorderen Kollektorreihe zur Vorderkante der hinten liegenden Reihe

einer relativen Differenz zur herkömmlichen Aufständigung von nur -0,9 % (451 kWh/(m²a) ggü. 455 kWh/(m²a)).

In der vorliegenden Untersuchung wurde diese Betrachtung erweitert. Der Standort der beiden Anlagen wurde verändert und der Neigungswinkel der nach Süden ausgerichteten Vergleichsanlage wurde so angepasst, dass dieser den marktüblichen Systemen entspricht. Als weitere Ergänzung zu den vorherigen Arbeiten wurde nun ebenfalls die Verschattung der Kollektorreihen berücksichtigt. Hierzu wurden die Schattenwürfe unter Berücksichtigung folgender Annahmen berechnet:

- Das nach Süden ausgerichtete, konventionelle Kollektorfeld wird nicht verschattet;
- Die Aufstellfläche für das Kollektorfeld ist eben und horizontal ausgerichtet;
- Das bifaziale System wird entlang der Kollektorreihen (Nord-Süd) homogen verschattet, d.h. ungleichmäßige Verschattungseffekte an den südlichen Enden der Reihen werden vernachlässigt;
- Die Reihen ganz im Osten bzw. Westen werden ebenfalls als verschattet betrachtet.

Tabelle 1: Anlagenparameter des bifazialen Agri-ST Systems, welche für die Verschattung relevant sind.

Größe	Symbol	Wert	Einheit
Gesamthöhe der bifazialen Kollektorreihe	H	2,5	m
Abstand zwischen den Kollektorreihen	D	12,0	m
Abstand Kollektorunterseite – Boden	D_G	1,0	m

Zur Veranschaulichung der Winkelverhältnisse dient Abbildung 7. Darin sind exemplarisch zwei Kollektorreihen mit einem beispielhaften Sonneneinfall mit Azimut- θ und Horizontwinkel φ eingezeichnet.

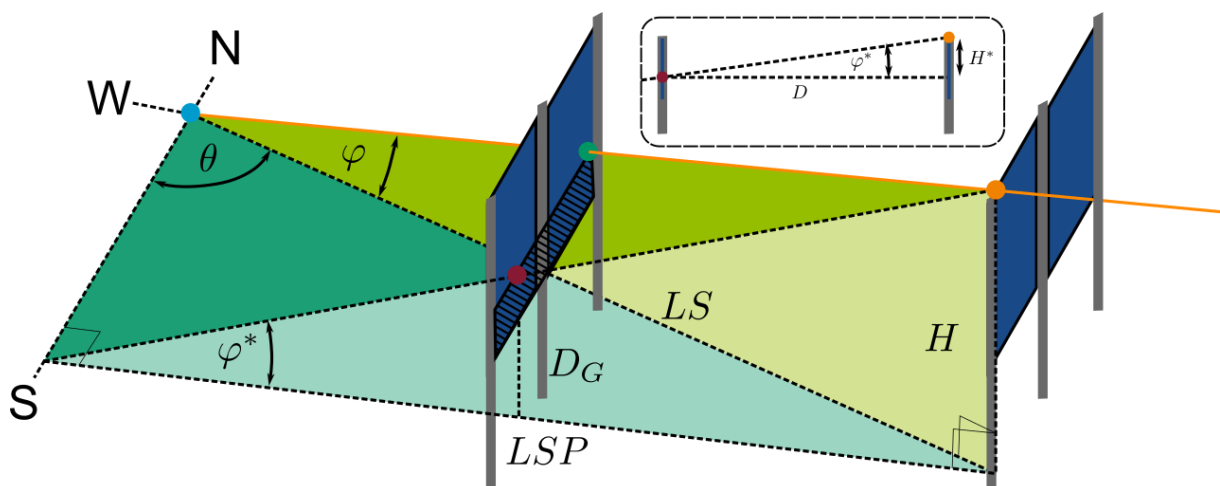


Abbildung 7: Winkelverhältnisse am bifazialen Agri-ST Kollektorfeld zur Berechnung der Verschattung. Die Solarstrahlung ist durch die orange Linie gekennzeichnet. Farbige Punkte markieren für die Berechnung wichtige Berührungspunkte des Lichtstrahls mit den Kollektoren bzw. dem Boden. Die verschattete Kollektorfläche ist durch die schraffierte Fläche gekennzeichnet.

Zunächst wurde die Schattenlänge LS in der Aufstellebene berechnet:

$$LS = \frac{H}{\tan(\varphi)} \quad \text{Gl. (1)}$$

Anschließend wurde die projizierte Schattenlänge senkrecht zur Kollektorfläche berechnet (vgl. Ansicht Abbildung 3 links):

$$LSP = LS \sin(\theta) \quad \text{Gl. (2)}$$

Für die Bestimmung der Verschattung wurde zunächst der Ankatheten-Winkel φ^* berechnet, welcher sich durch den Endpunkt des Schattens auf dem Boden, der höchsten Stelle der Kollektorreihe und dem Boden in der projizierten Ebene ergibt:

$$\varphi^* = \arctan\left(\frac{H}{LSP}\right) \quad \text{Gl. (3)}$$

Dieser Winkel wird verwendet um die vertikale Länge H^* der nicht-verschatteten Fläche zu berechnen:

$$H^* = D \tan(\varphi^*) \quad \text{Gl. (4)}$$

Dieser wiederum fließt in die Berechnung des Verschattungsgrades S mit ein:

$$S = 1 - \left(\frac{H^*}{(H - D_G)}\right) \quad \text{Gl. (5)}$$

S entspricht hierbei dem relativen Anteil ($0 \leq S \leq 1$) der Kollektorfläche, welcher durch die vorherige Kollektorreihe verschattet wird.

Beide Anlagen wurden für die Analyse in Bad Staffelstein positioniert und mit entsprechenden Wetterdaten aus PVGIS [14] simuliert. Der Neigungswinkel, die Bestrahlungsstärke, die diffuse Bestrahlungsstärke, sowie der durchschnittliche Wirkungsgrad des Kollektors und der Winkelkorrekturfaktors (IAM) wurden berücksichtigt, um den spezifischen Jahresertrag der Anlagen zu ermitteln. Die Berechnungsmethodik wurde dabei aus der ersten Untersuchung [13] übernommen.

4. Eigenschaften bifazialer Agri-ST Systeme

Der energetische Jahresvergleich zwischen dem konventionellen und dem bifazialen Kollektor ist in Abbildung 8 dargestellt. Die beiden blauen Kurven stellen die kumulierte spezifische Einstrahlung auf die Aperturfläche des konventionellen (durchgezogene Linien) und des bifazialen (gestrichelte Linien) Kollektors dar. Bei einer spezifischen Gesamteinstrahlung von $1.205 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ erfasst der südorientierte Kollektor etwa 10,1 % mehr Energie im Vergleich zum bifazialen Kollektor ($1.084 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$). Zwischen Oktober und April wird der süd-orientierte Kollektor stärker bestrahlt als der ost-west-orientierte. Dies wird durch die unterschiedliche Steigung der blauen Kurven verdeutlicht. Für den Rest des Jahres gelten für den bifazialen Kollektor jedoch ähnliche Bedingungen (d.h. ähnliche Steigung) wie für den konventionellen.

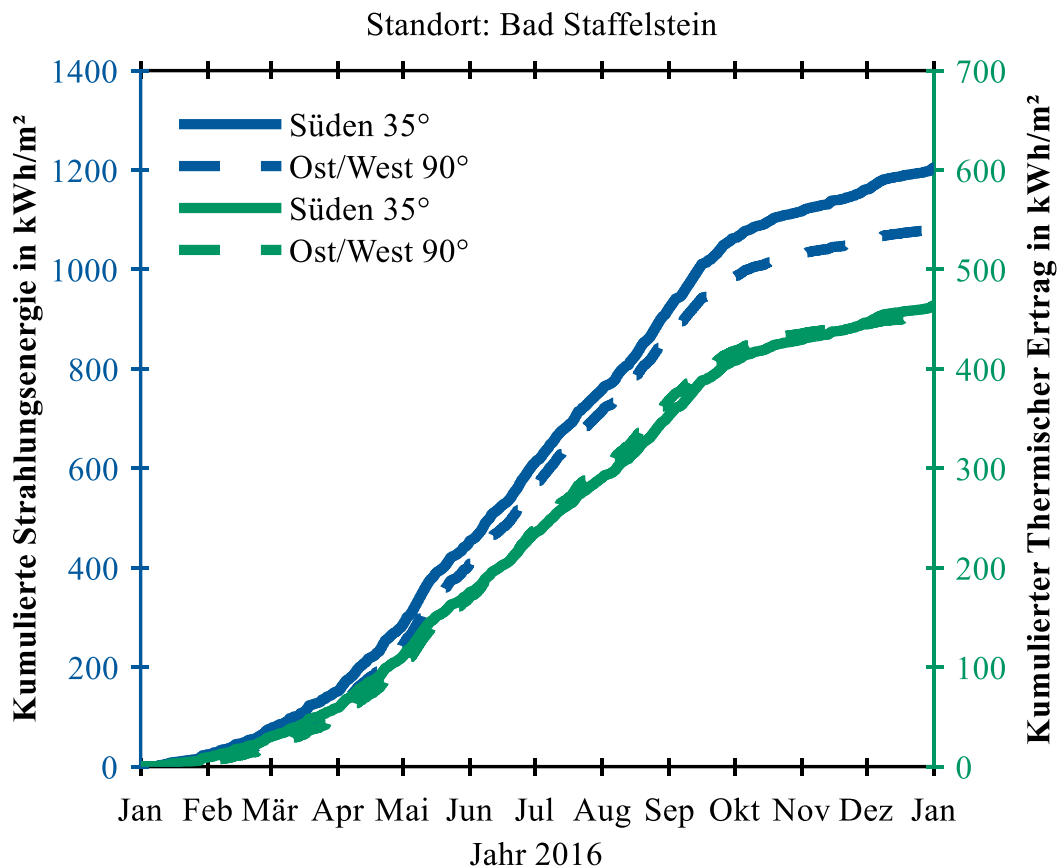


Abbildung 8 : Vergleich der jährlichen kumulierten spezifischen **Einstrahlung** (blau) für eine 35° südlich und eine 90° ost-westlich orientierte Fläche sowie der jährlichen kumulativen spezifischen **Ertrag** (grün) eines konventionellen und eines bifazialen Solarkollektors.

Die Hypothese, dass die vertikalen, ost-westlich ausgerichteten Flächen gerade im Winter stärker bestrahlt würden als die südlich ausgerichteten, hat sich somit nicht bestätigt. Die geringeren Höhenwinkel der Sonne während der Wintermonate sind also für die vertikale Installation nicht notwendigerweise von Vorteil.

Die grünen Kurven, welche den kumulierten spezifischen Energieertrag der Kollektoren darstellen, lassen vermuten, dass das Gegenteil der Fall zu sein scheint. Der Unterschied im gesamten spezifischen Energieertrag fällt nun signifikant geringer aus als bei der Betrachtung der solaren Einstrahlung auf die ebenen Flächen. Für den konventionellen Kollektor beträgt er 463,9 kWh/(m²a) und für den bifazialen Kollektor 453,4 kWh/(m²a), was einem relativen Unterschied von nur 2,3 % entspricht. Dieser geringe Unterschied ist einerseits auf den höheren Wirkungsgrad ($\eta = 0.5$) des vertikal aufgeständerten Kollektors zurückzuführen (ggü. $\eta = 0.425$)³. Die thermischen Konvektionsverluste eines vertikal aufgestellten Kollektors fallen deutlich geringer aus [16], was sich positiv auf die Effizienz auswirkt. Wie oben beschrieben, wird der bifaziale Kollektor im Winter weniger bestrahlt und generiert auch weniger thermischen Ertrag. Im Sommer jedoch, kann er trotz annähernd gleicher Bestrahlung mehr thermische Energie bereitstellen. Folglich weicht die Steigung der Kurven für diese Zeiträume ab.

³ Wie in der Voruntersuchung beschrieben, stammen die Wirkungsgrade aus der Literatur [15].

Andererseits können sich die geänderten Einfallswinkel der solaren Strahlung positiv auf den bifazialen Kollektor auswirken. Da dieser Effekt als signifikant für das Betriebsverhalten eingeschätzt wird, wurde dieser im Folgenden näher untersucht.

Für das Verständnis des Anlagenverhaltens ist somit auch die Untersuchung des Winkelkorrekturfaktors (IAM) relevant. Die Auswirkungen der jährlichen Sonnenbewegung auf den IAM sind in Abbildung 9 dargestellt.

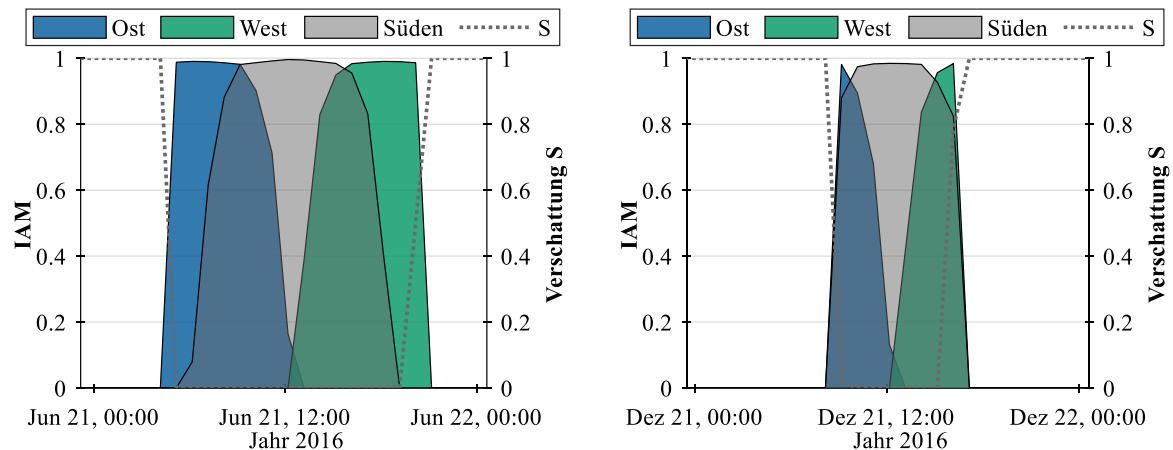


Abbildung 9: Winkelkorrekturfaktor für die 35° nach Süden (grau), 90° nach Osten (blau) und 90° nach Westen (grün) ausgerichteten Kollektoröffnungsflächen zur Sommersonnenwende (links) und zur Wintersonnenwende (rechts).

In den beiden Diagrammen werden die IAM-Werte für die 35° nach Süden, 90° nach Osten und 90° nach Westen ausgerichtete Kollektorfläche verglichen. Auf der linken Seite ist der Verlauf zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende dargestellt. Der blaue Bereich repräsentiert die Ostseite des bifazialen Kollektors, die früh am Morgen bestrahlt wird. In ähnlicher Weise wird die Westseite in der zweiten Tageshälfte bestrahlt, was durch den grünen Bereich dargestellt wird. Erwartungsgemäß wird die südliche Fläche (hier grau) in der Mitte des Tages am stärksten bestrahlt. Die gepunktete Linie stellt den Verschattungsgrad S nach Gl. (5) dar.

Bemerkenswert ist, dass aufgrund des frühen Sonnenaufgangs und des späten Sonnenuntergangs der Flächeninhalt der IAM-Verläufe für Ost und West zusammen betrachtet größer ist als der graue Bereich, der den konventionellen Kollektor repräsentiert. Dies erklärt, warum der bifaziale Kollektor im Sommer einen höheren spezifischen Ertrag erzielt als der konventionelle Kollektor.

Zu Beginn der Untersuchung wurde erwartet, dass Verschattungseffekte einen erheblichen Einfluss auf diesen Vorteil haben können, den das bifaziale Konzept gegenüber dem konventionellen Konzept bietet. Es wurde vermutet, dass die Verschattung im Sommer den Vorteil des frühen Sonnenaufgangs und des späten Sonnenuntergangs teilweise ausgleicht, so dass das bifaziale System einen geringeren spezifischen Ertrag liefern würde als zuvor angenommen. Bei Betrachtung der gepunkteten Linie fällt jedoch auf, dass unter Berücksichtigung der in Tabelle 1 gelisteten Anlagenparameter, Verschattung nur innerhalb der ersten 1-2 Stunden nach Sonnenauf- bzw. vor Sonnenuntergang stattfindet. Je größer das Verhältnis zwischen Gesamthöhe H und Reihenabstand D , desto stärker wird der Einfluss der Verschattung für das System sein.

Die gewählten Werte $H = 2,5 \text{ m}$ und $D = 12,0 \text{ m}$ stellen jedoch Parameter dar, die auf Grundlage bisheriger Agri-PV Systeme gewählt und unter Berücksichtigung der Isolierglaskollektortechnologie angepasst wurden, womit sie als durchaus realistisch betrachtet werden können.

Rechts in Abbildung 9 ist derselbe Datensatz zur Wintersonnenwende dargestellt. Hier zeigt sich ein anderes Ergebnis. Die kürzeren Tage wirken sich deutlicher auf den bifazialen Kollektor aus. Die Azimut- und Höhenwinkel sind in diesem Fall ungünstiger, obwohl die niedrigen Höhenwinkel zunächst als vorteilhaft für das vertikale System angenommen wurden. Insgesamt zeigt sich im Winter ein geringerer Energieertrag im Vergleich zum konventionellen Modul. Die Dauer der Verschattung liegt zwar in der gleichen Größenordnung wie zur Sommersonnenwende, jedoch nimmt dieser Zeitraum im Winter einen größeren Anteil des Tages ein. Dies bedeutet, dass sich ähnlich wie bei konventionellen Systemen, die Verschattung im Winter stärker auf die Anlagenerträge auswirkt als im Sommer. Insgesamt – unter Vernachlässigung der Verschattung für das konventionelle System – liefert die nach Süden ausgerichtete Anlage in den Wintermonaten höhere Erträge.

Um saisonale Effekte besser bewerten zu können, wurden die Ergebnisse in Abbildung 10 als Balkendiagramm für die einzelnen Monate des Jahres dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Monate April bis August diejenigen sind, in denen das bifaziale System gleich viel oder mehr Wärmeenergie liefert. In diesem Zeitraum übertrifft der spezifische Ertrag des bifazialen Kollektors den des konventionellen Kollektors um 8,8 %. In den Monaten September bis März hingegen profitiert das konventionelle Systemkonzept. Dies schlägt sich im spezifischen Energieertrag nieder, der um 27,4 % höher ist als der des bifazialen Kollektors.

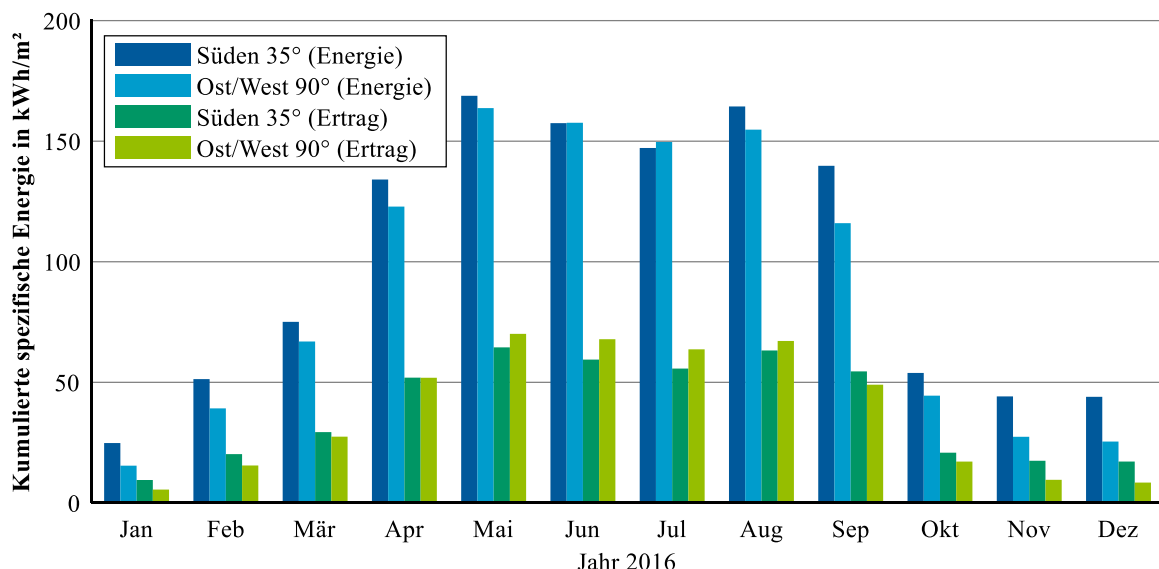


Abbildung 10: Vergleich der monatlich kumulierten spezifischen Einstrahlung für eine 35° südlich (dunkelblau) und eine 90° ost-westlich (hellblau) ausgerichtete Fläche sowie des monatlich kumulierten spezifischen thermischen Ertrags eines konventionellen (dunkelgrün) und eines bifazialen (hellgrün) Solarkollektors.

Wie oben erwähnt, variieren diese Ergebnisse mit Systemdesign-Parametern wie bspw. Reihenabstand, Aufstellhöhe, Feldorientierung aber auch mit der Topografie der

Aufstellfläche (Form, Orientierung, Neigung, Feldfrucht, etc.). Es ergibt sich ein komplexes System mit einer Vielzahl von Einflussgrößen, welche sich auf die technisch-wirtschaftliche Eignung dieser Systeme auswirken kann. Die vorliegende Arbeit stellt orientierende Berechnungen auf Basis der Einstrahlungsverhältnisse dar, die den Einschränkungen der getroffenen Annahmen und Vereinfachungen unterliegt. Im nächsten Schritt werden diese sukzessive erweitert und in eine dynamische Anlagensimulation überführt.

Neben diesen technischen Fragestellungen spielen insbesondere die landwirtschaftlichen Anforderungen für die Gestaltung der Systeme eine entscheidende Rolle. So wird bspw. der Reihenabstand D durch die Größe der verwendeten Landmaschinen, aber auch durch den für die Pflanzen angemessenen/zulässigen Verschattungsgrad bestimmt. Ferner wirkt sich die angebaute Pflanzenart auf den Abstand D_G aus. So wächst Mais bspw. sehr hoch, was dazu führen würde, dass die Gesamthöhe der Anlage H deutlich größer sein muss. Eine sehr große Höhe kann aufgrund der Windlasten jedoch problematisch für die mechanischen Eigenschaften des Aufständersystems sein, wodurch sich erneut Einschränkungen im Systemdesign ergeben. All diese Herausforderungen werden im Forschungsprojekt STRAWBERRIES [17] gemeinsam mit europäischen Forschungspartnern detailliert adressiert und entsprechende Entwicklungen auf Komponenten- und Systemebene hin zu einer ersten Demonstrationsanlage durchgeführt.

5. Fazit

Erste Untersuchungen im Rahmen einer Vorstudie [13] belegen die generelle Machbarkeit und das Potenzial des Agri-ST-Konzepts: Es zeigt sich, dass der bifaziale Kollektorbetrieb einen ähnlichen thermischen Ertrag erreichen kann wie konventionelle Systeme. Gleichzeitig ermöglicht das Agri-ST-System eine deutlich effizientere Flächenausnutzung für die erneuerbare Wärmebereitstellung. Konkret benötigt eine konventionelle solarthermische Anlage ungefähr dreimal mehr Fläche als eine bifaziale Anlage.

Im vorliegenden Beitrag wurde das Systemkonzept der Agri-ST näher beschrieben und dessen grundsätzliche Machbarkeit gezeigt. In Erweiterung zu bisherigen Potentialanalysen wurde in dieser Arbeit die Verschattung der Module als wichtiger Aspekt für das Systemdesign mitberücksichtigt. Es wurden die energetischen Potenziale eines Agri-ST-Systems im Vergleich zu einer herkömmlichen Freiflächen-Großanlage hergeleitet und damit die Synergien des Systems für Landwirte, Hersteller, Installateure und Kommunen aufgezeigt. Daneben wurde beleuchtet, unter welchen Bedingungen die Isolierglaskollektor-Technologie für den bifazialen Betrieb zum Einsatz kommen kann und welche Anforderungen in einem Agri-ST-System im Vergleich zu herkömmlich eingesetzten Kollektoren bestehen. Auf dieser Basis beschreibt der Beitrag, welche technologischen Entwicklungsschritte auf System- und Kollektorebene erforderlich sind, damit Agri-ST zur Lösung der Problematik der begrenzten Flächenverfügbarkeit für solarthermische Systeme beitragen kann und wie diese Herausforderungen vom InES im europäischen Kontext adressiert werden.

Danksagung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms unter dem Projekt "STRAWBERRIES" (Projekt-ID 03EN6041A) gefördert. Wir danken dem BMWK und dem Projektträger Jülich für die Unterstützung des Forschungsvorhabens sowie für die vertrauensvolle Zusammenarbeit.

This project has been funded by partners of the CETPartnership (<https://cetpartnership.eu/>) through the Joint Call 2022. As such, this project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement no. 101069750."

Literaturverzeichnis

- [1] Stier, F.: "Access to land is one of the key bottlenecks for rolling out renewables", 2022. <https://solarthermalworld.org/news/access-to-land-is-one-of-the-key-bottlenecks-for-rolling-out-renewables/>, abgerufen am: 14.12.2022
- [2] Flaschenhals Fläche. Flächenhemmnissen durch Flächenanalyse strukturiert begegnen, Solites Steinbeis Innovation gGmbH, 2022
- [3] Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende 1. Auflage, Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., Högy, P., Zikeli, S., Ehmann, A., Weselek, A., Bodmer, U., Rösch, C., Ketzer, D., Weinberger, N., Schindele, S. u. Vollprecht, J., 2020
- [4] Scharf, J., Grieb, M. u. Fritz, M.: Agri-Photovoltaik. Stand und offene Fragen. TFZ-Bericht 73, 2021. www.tfz.bayern.de, abgerufen am: 31.08.2021
- [5] Goetzberger, A. u. Tastrow, A.: Kartoffeln unter dem Kollektor. Neuer Vorschlag der Fraunhofer-Gesellschaft. Sonnenenergie 6 (1981) 3, S. 19–22
- [6] Deutsche Norm DIN SPEC 91434:2021-05. *Agri-Photovoltaik-Anlagen. Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung*. <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91434/337886742>, abgerufen am: 05.09.2022
- [7] Next2Sun Technology GmbH: Next2Sun | Photovoltaik-Innovation für bis zu ca. 20% höheren Stromertrag, 2024. <https://next2sun.com/>, abgerufen am: 13.02.2024
- [8] Solarthemen Media GmbH: Größte Solarthermie-Anlage Deutschlands in Leipzig geplant. Die Leipziger Stadtwerke errichten bis 2025 die größte Solarthermie-Anlage Deutschlands. Sie soll 41 MW Leistung erbringen und damit im Sommer 20 Prozent des Leipziger Fernwärmebedarfs abdecken., 2023. <https://www.solarserver.de/2023/04/03/groesste-solarthermie-anlage-deutschlands-in-leipzig-geplant/>, abgerufen am: 13.02.2024
- [9] Norddeutscher Rundfunk: Greifswald: Größte Solarthermieranlage Deutschlands in Betrieb. In Greifswald ist am Donnerstag Deutschlands größte Solarthermieanlage in Betrieb gegangen. Das in den Kollektoren produzierte heiße Wasser wird in die Fernwärmeversorgung eingespeist., 2022. <https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Greifswald-Groesste-Solarthermieranlage-Deutschland-in-Betrieb,solarthermie116.html>, abgerufen am: 13.02.2024

- [10] Epp, B.: "German SDH market could be bigger, if there was enough space", 2021. <https://www.solarthermalworld.org/news/german-sdh-market-could-be-bigger-if-there-was-enough-space>, abgerufen am: 08.10.2021
- [11] Epp, B.: "Renewable heat generation should be privileged in the Building Regulations §35", 2021. <https://www.solarthermalworld.org/news/renewable-heat-generation-should-be-privileged-building-regulations-ss35>, abgerufen am: 08.10.2021
- [12] Augsten, E.: Solar Thermal Shows Highest Energy Yield Per Square Metre, 2017. <https://solarthermalworld.org/news/solar-thermal-shows-highest-energy-yield-square-metre/>, abgerufen am: 11.11.2022
- [13] Summ, T., Seiler, M., Ehrenwirth, M., Trinkl, C. u. Zörner, W.: Agri Solar Thermal Systems: A Brief Study on the Energetic Potential of Bifacial Solar Thermal Systems. Proceedings of EuroSun 2022 - ISES and IEA SHC International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry. Freiburg, Germany: International Solar Energy Society 2022, 1245-1252
- [14] European Commission, Joint Research Centre: Photovoltaic Geographical Information System. Solar radiation database SARA. Ispra (Italy) 2022
- [15] Giovannetti, F. u. Kirchner, M.: Performance and Reliability of Insulated Glass Collector Prototypes. Proceedings of the EuroSun 2014 Conference. Freiburg, Germany 2015, S. 355–361
- [16] Summ, T., Abdalsalam, M., Ehrenwirth, M., Trinkl, C. u. Zörner, W.: A Detailed Investigation on the Convective Heat Transfer Inside the Enclosed Cavity of Insulated Glass Solar Thermal Flat-Plate Collectors. Proceedings of the Solar World Congress 2021. 2021
- [17] Clean Energy Transition Partnership Coordination: STRAWBERRIES. Solar Thermal Agriculture with Bifacial Collectors for Farming Synergies, 2023. <https://cetpartnership.eu/calls/funded-project/strawberries>, abgerufen am: 13.02.2024