

Agri-Photovoltaik: Positive Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum unter Solarmodulen sind möglich

Vaccaro C¹ & Jäger M²

Keywords: Agri-Photovoltaik, Pflanzenwachstum, Beschattung, Nüsslissalat

Abstract

*Im Agri-Photovoltaik-Vorversuch in Wädenswil wurde das Pflanzenwachstum von Nüsslissalat (*Valerianella locusta* L.) in drei Anbauperioden (Winter, Vorfrühling und Spätfrühling) unter Solarmodulen untersucht. Die Solarmodule wurden in einer Höhe von 0,60 bis 1,60 m über dem Boden in einer 3 x 3-Anordnung (mit einer Fläche von 3,50 x 1,50 m) montiert. Chlorophyllgehalt, Blattlänge und -breite und spezifische Blattfläche (SLA) waren unter den Solarmodulen signifikant höher ($p < 0,05$). Über alle Anbauperioden hinweg lag das Frischgewicht unter und hinter den Modulen im Vergleich zur Kontrolle um 17 % höher bzw. um 8 % niedriger. Der Einfluss der Behandlungen variierte stark mit der Jahreszeit. Nüsslissalat unter den Solarmodulen hatte das höchste Frischgewicht im Winter und Spätfrühling. Im Vorfrühling war das Frischgewicht unter den Modulen und in der Kontrolle identisch. Unsere Ergebnisse zeigen, dass positive Auswirkungen der Agri-Photovoltaik auf das Pflanzenwachstum möglich sind und – neben anderen Einflussfaktoren – von der Jahreszeit abhängen. Während der Wintermonate und im Spätfrühling kann für Nüsslissalat von einem günstigen Mikroklima unter Solarmodulen ausgegangen werden. Nachteilige Auswirkungen wurden im Bereich hinter den Modulen mit den niedrigsten Frischgewichten in der ersten und zweiten Anbauphase beobachtet.*

Einleitung und Zielsetzung

Der Ansatz der dualen Landnutzung zur solaren Energieerzeugung und zum Ackerbau bzw. zur Tierhaltung (Agri-Photovoltaik, kurz APV) gewinnt in jüngster Zeit zunehmend an gesellschaftspolitischem Interesse. Gleichzeitig erfordert die Kombination von Ackerbau und Stromproduktion ein umfassendes Know-how in technischen und agronomischen Fragen, um eine optimale Gestaltung für den jeweiligen Standort und die spezifische Nutzung mit den unterschiedlichen Anforderungen zu finden.

Ziel des APV-Vorversuchs war es, erste Erfahrungen mit einem agrivoltaischen System innerhalb unserer Forschungsgruppe und auf unserem Campus zu sammeln. Er umfasste die Planung und Installation von neun transparenten Solarmodulen mit optischer Micro-Tracking-Technologie von Insolight® sowie den Anbau und die Untersuchung des Wachstums von Nüsslissalat (Feldsalat), einer gängigen Wintersalatkultur in der Schweiz, in drei Durchgängen.

¹ ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Grüentalstrasse 14, 8820 Wädenswil, Schweiz, christina.vaccaro@zhaw.ch

² ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Grüentalstrasse 14, 8820 Wädenswil, Schweiz, mareike.jaeger@zhaw.ch

Methoden

Auf dem ZHAW-Campus Grüental in Wädenswil wurden im November 2021 neun transparenten THEIA-cSi Photovoltaikmodule von Insolight® bodennah in einer 3x3-Anordnung (3,5 x 1,5 m) montiert. Die Module besitzen eine optische Micro-Tracking-Technologie, welche die Anpassung der Lichtdurchlässigkeit (15% für maximale Stromproduktion, 70% für maximale Transmission zur Photosynthese) erlaubt. In der ersten Anbaurunde wurde die maximale Transmission gewählt, in Anbaurunde 2 und 3 wurde die Lichttransmission zwischen 12 bis 14 Uhr auf 15% beschränkt.

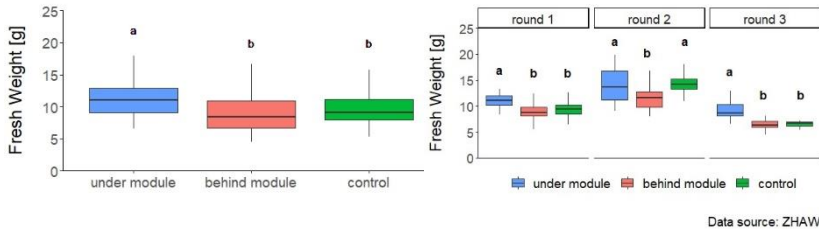
Auf zwei Flächen von ca. 3,50 x 3,00 m wurden innerhalb einer perforierten Folie Bio-Nüsslisalat-Setzlinge (*Valerianella locusta* L.) gepflanzt (8.11.21, 16.03.22, 10.05.22). Die Solarmodule bedeckten eine Fläche von 2,0 x 3,5 m (Behandlung "unter den Modulen"), die Fläche nördlich der Module (Behandlung "hinter den Modulen") war beschattet, aber nicht überdacht. Die Ernten erfolgten am 8.02., 21.04. und 2.06. Der Chlorophyllgehalt der Blätter wurde mit einem Chlorophyllmessgerät (SPAD-502Plus Konica Minolta®) bestimmt. Zur Bestimmung von Blattlänge und -breite wurde das jüngste voll entwickelte Blatt mittels Schieblehre gemessen. Die spezifische Blattfläche (SLA, Verhältnis Blattfläche:Blattmasse) anhand von Blattstanzen mit definierter Fläche erhoben. Salate wurden mithilfe eines Messers geerntet und deren Frischgewicht bestimmt. Außerdem wurde die Energieproduktion mit dem internen Messsystem des Moduls gemessen und in der firmeneigenen Webanwendung von Insolight protokolliert. Die statistischen Analysen wurden mit linearen gemischten Modellen in R (Version 4.1.2) durchgeführt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Pflanzenmerkmale lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Chlorophyllgehalt war über alle Anbauperioden hinweg unter den Modulen signifikant höher. In der zweiten Anbauperiode gab es keine signifikanten Unterschiede.
- Die Blätter waren insgesamt unter Modulen signifikant länger und breiter über alle Anbauperioden hinweg. In der zweiten Runde allerdings nicht signifikant.
- Die spezifische Blattfläche war über alle Anbauperioden hinweg unter und hinter den Modulen signifikant höher als in der Kontrolle. Die Runden einzeln betrachtet traf dies auf die Anbauperiode 1 und 3 zu, in der zweiten Anbauperiode hatten Salate hinter den Modulen eine intermediäre SLA.
- Das Frischgewicht war über alle Anbauperioden hinweg unter Modulen signifikant höher als in der Kontrolle oder hinter den Modulen. Dies entsprach auch den einzelnen Anbauperioden mit Ausnahme von Periode 2, in der das Frischgewicht von Salaten unter Modulen und in der Kontrollfläche identisch war (Tabelle 1 und Abbildung 1).

Tabelle 1: Mittleres Frischgewicht (g) und Standardabweichung von Nüsslisalat-Pflanzen in den drei Anbauperioden. Kleinbuchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin ($p < 0,05$).



Behandlung	Anbauperiode 1	Anbauperiode 2	Anbauperiode 3	Anbauperiode 1-3
unter Modul	10.9 ± 0.4a	13.9 ± 0.8a	9.2 ± 0.3a	11.4 ± 1.6a
hinter Modul	8.9 ± 0.4b	11.5 ± 0.9b	6.4 ± 0.3b	8.9 ± 1.6b
Kontrolle	9.4 ± 0.3b	13.9 ± 1.2a	5.5 ± 0.5b	9.7 ± 1.6b

Abbildung 1: Vergleich der Frischgewichte von Nüsslisalat unter und hinter Modulen mit der Kontrolle(A) gemittelt über alle drei Anbauunden und (B) innerhalb jeder Runde.

Diskussion

Die Erfassung der gleichen Parameter in drei aufeinanderfolgenden Anbauperioden ermöglichte den Vergleich potenzieller Effekte von APV auf das Wachstum von Nüsslisalat zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Während in Anbaurunde 2 kaum signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen und der Kontrolle festgestellt wurden, zeigten die Anbauperioden 1 und 3 signifikante Unterschiede im Chlorophyllgehalt, in der Blattmasse und -grösse sowie im Frischgewicht zwischen den Salaten unter den Modulen und jenen hinter den Modulen und in der Kontrolle. Interessant ist, dass die Anbaurunde 2 in die Nüsslisalat-Hauptsaison fällt, während die Anbauperiode 1 spät lag, was den Pflanztermin für die Freilandproduktion betrifft, und die Anbauperiode 3 außerhalb der üblichen Vegetationsperiode ohne Bedeckung.

Ein höherer Blattchlorophyllgehalt unter den Modulen und eine höhere spezifische Blattfläche unter und hinter den Modulen in den Anbauperioden 1 und 3 lassen auf eine physiologische und morphologische Anpassung an die Lichtreduzierung schließen. Blattlänge und -breite waren unter den Modulen während aller Wachstumsperioden am höchsten. Die Blattlänge war in der Kontrolle in Anbauperiode 1 und 3 am geringsten, die Blattbreite in Runde 1. Salate unter den Solarmodulen wiesen das höchste Frischgewicht auf, hinter den Modulen das niedrigste, bis auf Anbaurunde 3 (spätes Frühjahr), wo die Salate in der Kontrolle das niedrigste Frischgewicht aufwiesen. In Anbaurunde 3 lag das Frischgewicht unter den Modulen im Vergleich zur Kontrolle um 67% höher. Mit der Einschränkung, dass zu dieser Jahreszeit kein Nüsslisalatanbau ohne Schutzabdeckungen stattfindet, könnte dies noch als eine potenzielle Verlängerung der Wachstumssaison des Feldsalats durch die Bereitstellung von Schatten für diese Winterkultur interpretiert werden.

Insgesamt profitierten die Kulturen unter den Solarmodulen von der durch die Module geschaffenen Umgebung. Dieser Vorteil könnte auf die Rückhaltung der Bodenstrahlung oder die Befreiung von der Schneedecke während der Anbauperioden Winter und Vorfrühling zurückzuführen sein. Es wird vermutet, dass diese möglichen positiven Auswirkungen auf die Mikroumgebung in der Zone hinter den Modulen nicht vorhanden waren. Es ist daher anzunehmen, dass bei fehlenden positiven Umwelteinflüssen die ungünstige Verringerung der Lichtverfügbarkeit den Salatertrag reduzierte. In Anbauperiode 3 zeigten die Lufttemperaturdaten an spezifischen Messpunkten deutlich reduzierte Maxima, was für den Nüsslisalat in der Spätsaison von Vorteil sein dürfte.

Beim Anbau im Schatten zeigen Pflanzen an Standorten mit unterschiedlicher Lichtverfügbarkeit mit abnehmender Lichtverfügbarkeit steigende Chlorophyllgehalte (Franklin 2008, Niinemets 2010). Durch die geringe Fläche der neun Solarmodule entstand eine kleine Direktverschattungsfläche, die zudem durch den niedrigen Winkel der Wintersonne starken täglichen Schattenverschiebungen unterworfen war. Dennoch wurden in der ersten und dritten Anbauperiode höhere Chlorophyllgehalte im Nüsslisalat unter Solarmodulen festgestellt. Ebenso waren die Blattstanzentrockengewichte und die SLA unter den Modulen am niedrigsten bzw. am höchsten, was auf eine gemeinsame Reaktion auf Beschattung mit einer dünneren Blattmorphologie hindeutet (z. B. Taiz und Zeiger 2010, Gommers et al. 2013). Es scheint, dass die unter Beschattung angebauten Salate eine schatteninduzierte Reaktion zeigten, indem sie größere, aber dünnere Blätter entwickelten. Generell können Blattgemüse als relativ schattentolerant angesehen werden (Laub et al. 2022).

Das erntefähige Frischgewicht ist ein wichtiger Parameter für Agronomen. In unserem Vorversuch war es bei den Nüsslisalaten unter den Solarmodulen mit Ausnahme der Anbauperiode 2 signifikant höher. Dieses Ergebnis war durchaus zu erwarten, da Salat im Hochsommer generell eine moderate Beschattung bevorzugt. Aus agronomischer Sicht wären neben den Ertragswerten auch die sensorischen Eigenschaften zu klären. Zum Beispiel, ob dünnere Blätter angenehmer zu essen sind oder ob es eine Veränderung der geschmacksbildenden Substanzen gibt.

Schlussfolgerungen

Die Optimierung gleichzeitiger Energie- und Pflanzenproduktion stellt Agri-Photovoltaiksysteme vor Herausforderungen. Unser Vorversuch konzentrierte sich ausschliesslich auf den agronomischen Aspekt und zeigte, dass Solarmodule durch eine günstige Mikroumgebung einen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum ausüben können, insbesondere ausserhalb der üblichen Wachstumsperiode. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass positive Auswirkungen der Agri-Photovoltaik auf das Pflanzenwachstum möglich sind und – neben anderen Einflussfaktoren – von der Jahreszeit abhängen. Im Fall von Nüsslisalat kann von einem günstigen Mikroklima unter Solarmodulen während der Wintermonate ausgegangen werden, während seine Wachstumsperiode ohne Bedeckung im Spätfrühling verlängert werden kann.

Literatur

- Franklin KA (2008) Shade avoidance. *New Phytologist* 179, 930–944.
- 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. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 42: 51. doi: 10.31220/agriRxiv.2021.00099.

- Gommers CMM, Visser EJW, Onge KRS, Voesenek LACJ & Pierik R (2013) Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in Plant Science* 18, 65–71.
- Niinemets Ü (2010) A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance. *Ecol Res* 25, 693–714.
- Taiz L & Zeiger E (2010) *Plant physiology*. *Plant Physiology*. 5th Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland.