

# Agri-Photovoltaik

## Schüler/innen forschen zum Pflanzenbau im Zuge von Klimawandel und Energiewende

JULIAN HOFBAUER – JESSICA STEBE – RADIM VITASEK – STEFAN HOFBAUER – INGA SCHLESSIER – MATHIAS RUDOLPH

Die Agri-Photovoltaik, sprich die Nutzung von Photovoltaik auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche, bietet die Möglichkeit eines effizienten und nachhaltigen Flächengebrauchs. In praxisnaher Forschung werden mit Schüler/innen Konzepte entwickelt, um Wechselwirkungen zwischen erneuerbaren Energien und Agrarflächen zu untersuchen. Gemeinsam erarbeitete Erkenntnisse werden genutzt, um Bildungsarbeit zu leisten und Synergien zwischen Schule und Hochschule zu generieren.

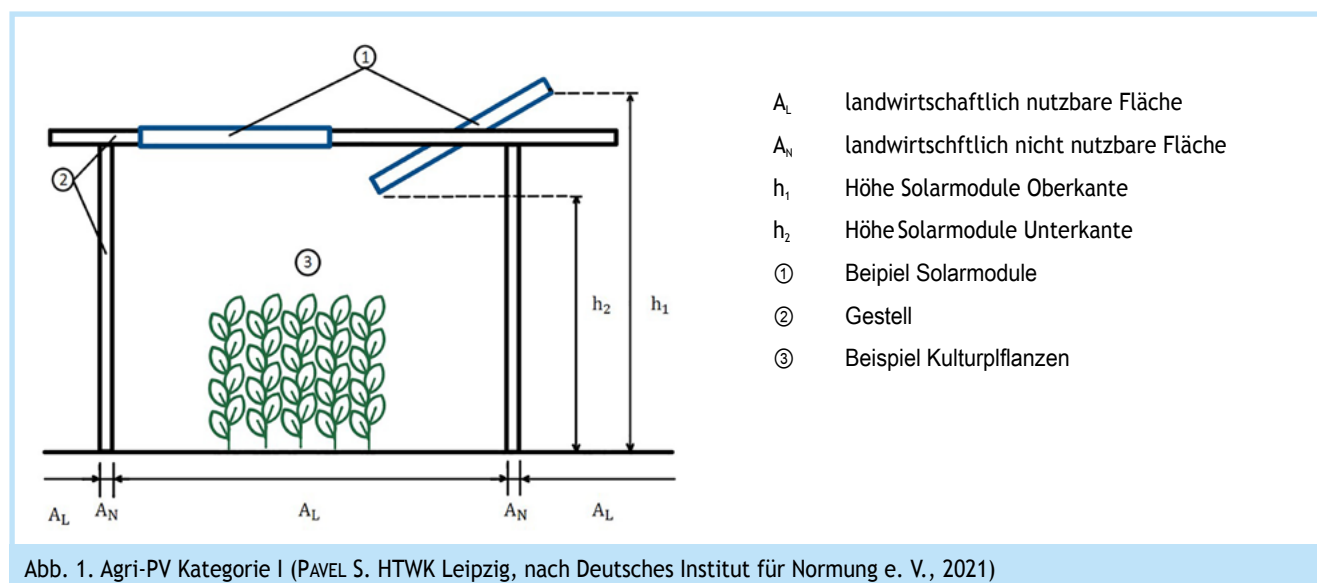
### 1 Ziele des Projekts / zu lösendes Problem

Der Anteil der erneuerbaren Energie im Strommix steigt und die Photovoltaik (PV) ist dabei eine der treibenden Größen. So deckte die PV in Deutschland im Jahr 2021 mit 50 TWh 8,9% des Bruttostromverbrauchs (WIRTH, 2022). Sektorübergreifend (bzgl. Strom, Wärme und Verkehr) konnten 2021 19,7% des Bruttoenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien gewonnen werden (Umweltbundesamt, 2022). Mit zunehmendem Ausbau rückt auch die Frage nach geeigneten Flächen immer weiter in den Vordergrund. Hierbei steht vor allem eine Doppelnutzung von Fläche, insbesondere die Installation von Photovoltaik auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (kurz: Agri-Photovoltaik), im Fokus. Die Definition der Agri-PV bzw. welche Unterscheidungsmerkmale es gibt, ist in der DIN SPEC 91434:2021-05 zu finden (aktuell als Vornorm) (Deutsches Institut für Normung e. V., 2021).

Agri-Photovoltaik-Anlagen werden dabei in zwei Kategorien definiert. Die Kategorie I beschreibt Anlagen mit einer Aufständerung in lichter Höhe, während die Kategorie II Anlagen mit einer bodennahen Aufständerung beschreibt (siehe Abb. 1 und Abb. 2) (Deutsches Institut für Normung e. V., 2021).

Im Jahr 2022 hat auch die Bundesregierung reagiert und mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2023 die nötige Rechtsgrundlage geschaffen (Deutscher Bundestag, 2022). Die Agri-Photovoltaik kann dabei, neben der Erhöhung der Landnutzungsrate, einen Beitrag zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel leisten (TROMMSDORFF et al., 2022). So können Solarmodule über landwirtschaftlichen Erzeugnissen Schutz vor starken Wettereinflüssen bieten und gleichzeitig eine Verdunstung verringern (WYDRA et al., 2022). Regenwasser kann durch Module aufgefangen und gesammelt werden. Die Herausforderung besteht darin, dass – in Abhängigkeit von der Nutzpflanze, der Art der Photovoltaikaufständerung und dem Wetter – gegebenenfalls mit einer Reduzierung des landwirtschaftlichen Ertrags zu rechnen ist (WYDRA et al., 2022).

Die genannten Herausforderungen werden durch das Arbeiten in interdisziplinären Inhalten mit Schüler/innen untersucht. Die Schüler/innen arbeiten hierbei in einem Themenfeld, welches einerseits noch viel Potential für die Erforschung (einer eigenen Fragestellung) in einem bisher noch wenig erforschten Bereich bietet und andererseits greifbar und wenig abstrakt ist. Die Schüler/innen gehen zusammen mit Wissenschaftler/



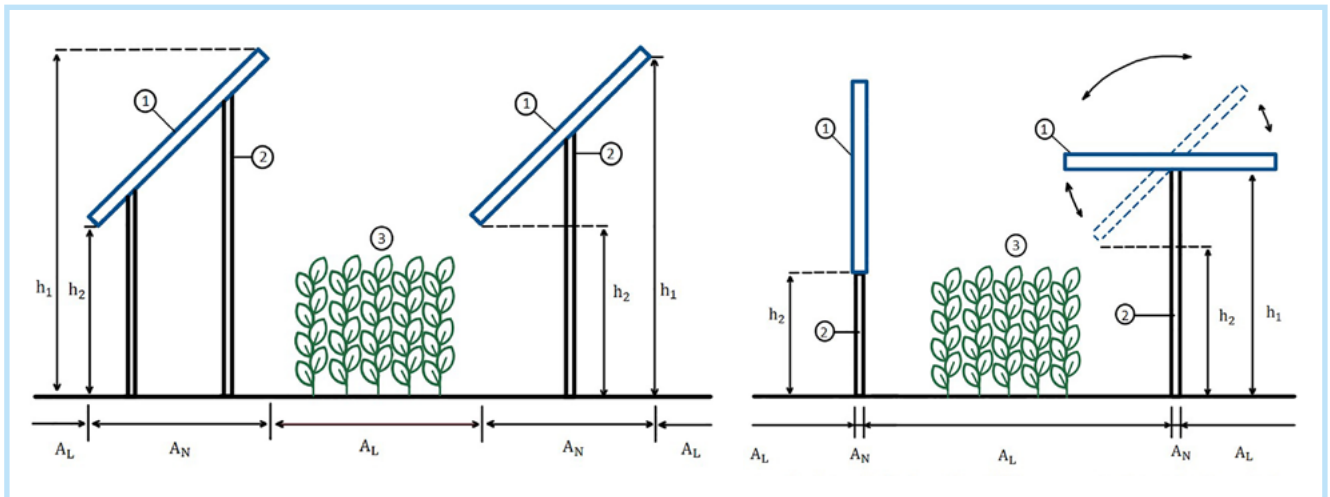


Abb. 2. Darstellung zu Kategorie II, Variante 1 und Variante 2 (PAVEL S. HTWK Leipzig, nach Deutsches Institut für Normung e. V., 2021)

inne/n und studentischen Mitarbeiter/inne/n der HTWK den Fragen auf den Grund, wie sich verschiedene Nutzpflanzen unter Photovoltaik-Modulen entwickeln, wie hoch der Ertrag und der Wasserbedarf sind und vergleichen diese Werte mit Pflanzen, welche auf einer Referenzfläche angebaut werden. Durch die Arbeit mit Pflanzen, Photovoltaik, Messtechnik und Mikrocontrollern kann den Schüler/inne/n ein fächerübergreifendes MINT-Angebot gemacht werden, in welchem das Zusammenspiel der Physik, Biologie, Elektrotechnik und Informatik praxisnah erlebbar wird. Viele der entwickelten Versuche lassen sich in reduziertem Umfang auch an Schulen im Rahmen des Unterrichtes oder außerschulischen Angeboten verwirklichen.

## 2 Technische Umsetzung des Versuchsstandes / Aufbau

Auf der Dachterrasse der HTWK Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (Fakultät Ingenieurwissenschaften) wurde zur Überprüfung der oben genannten Hypothesen und

zur entsprechenden Quantifizierung eine Versuchsanlage, bestehend aus drei Teilen – einer Agri-Photovoltaik-Anlage der Kategorie I (hochaufgeständert), einer Pflanzfläche (nicht beschattet) und einer PV-Referenzfläche – auf einer Fläche von insgesamt ca. 3 m x 9 m realisiert. Der schematische Aufbau der Agri-Photovoltaik Anlage ist in Abbildung 3 links dargestellt und zeigt die drei Versuchsflächen.

Die Photovoltaikanlagen bestehen aus zweimal vier Modulen mit einer Peakleistung von jeweils 50 Wp, woraus je Anlagenteil eine Gesamtleistung von 200 Wp resultiert. Zur Versorgung der Messtechnik wird die Energie in zwei Bleiakkumulatoren gespeichert. Zwei Laderegler mit integriertem Maximum Power Point Tracker (MPPT) sorgen dafür, dass die PV-Anlage im maximalen Leistungspunkt betrieben wird und regeln zum Schutz der Batterie ggf. die PV-Module oder die angeschlossenen Verbraucher ab.

Die Anlage ist mit entsprechenden Sensoren, z.B. für Temperatur und Feuchte sowie einer Datenbank ausgerüstet (Datenbankmanagementsystem PostgreSQL). Die Visualisierung und

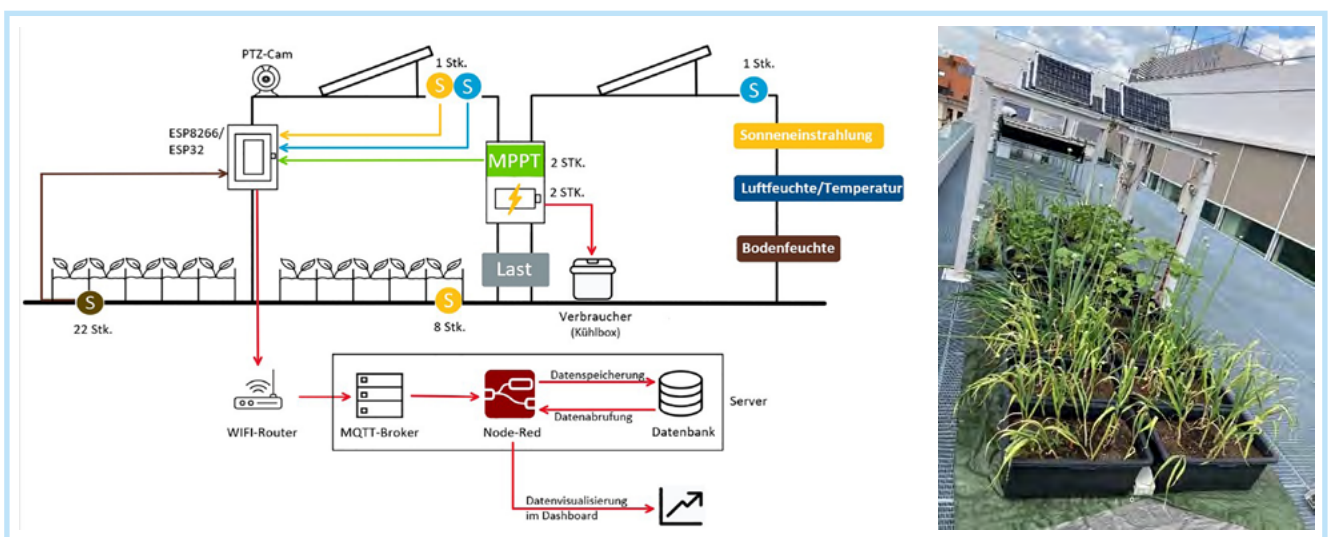


Abb. 3. Aufbau der Versuchsanlage (links: Schema, rechts: Vorderansicht der Versuchsanlage auf der Dachterrasse der HTWK Leipzig)

Steuerung erfolgt über ein Dashboard, welches innerhalb des HTWK Netzes abrufbar ist. Um den Schüler/inne/n auch außerhalb der HTWK die Werte zugänglich zu machen, besteht ebenfalls die Möglichkeit, über den Messengerdienst *Telegram* die Anlage zu steuern und Grafiken sowie Datensätze abzurufen. Mit eingeschränkter Möglichkeit ist dies auch über einen öffentlichen Zugang mithilfe des @AgroPvBot möglich.

### 3 Arbeit mit den Schüler/inne/n

Im Fokus des Projektes steht die gemeinsame Forschung mit den Schüler/inne/n. Neben dem eigenständigen Arbeiten am Versuchsstand sind der Aufbau und die Ausstattung mit Sensoren und Aktoren ein wichtiger Teil der Arbeit der Schüler/innen. Je nach Alter und Vorwissen werden den Schüler/inne/n verschiedene Angebote gemacht, welche unterschiedlich strukturiert sind. Zu den Wichtigsten gehören die den Schulalltag begleitenden Angebote, wie das Ganztagesangebot (GTA) oder die Begleitung von Schüler/innenforschungsprojekten im Rahmen einer besonderen Lern Leistung (BeLL) oder Jugend Forscht (JuFo). Diese richten sich primär an Schüler/innen ab der Klassenstufe 7 (GTA) sowie 11–12 (BeLL, JuFo).

Die Angebote finden in der Regel über ein Schuljahr alle zwei Wochen mit einer Länge von 90 Minuten (GTA) bzw. 4 Stunden (BeLL, JuFo) an der HTWK statt. Dazu werden die am Lehrstuhl Industrielle Messtechnik zur Verfügung stehenden Laborräume genutzt. Neben Arbeitsplätzen zum Löten steht das Laborequipment wie Multimeter, Messkarten und Laborspannungsquellen sowie Computer mit vorinstallierter Software zur Programmierung der Mikrokontroller den Schüler/inne/n zur Verfügung. Seitens der Schüler/innen wird ein Interesse an technischen Fragestellungen, aber keine Vorkenntnisse vorausgesetzt.

#### 3.1 Ganztagesangebot

Die Schüler/innen können ihren Fragen im Rahmen eigener Experimente und Messungen nachgehen und arbeiten in Kleingruppen von 3-6 Schüler/inne/n an einem Thema. Über zwei Jahre hinweg findet sich die feste Gruppe alle zwei Wochen in der Hochschule ein und erarbeitet zusammen mit den Betreuenden in 90 Minuten aktuelle Frage- und Problemstellungen.

Der sich auf der Dachterrasse der HTWK befindliche Agri-Photovoltaik-Versuchsstand dient als Grundlage für die Entwicklung eigener Messsysteme zur Messung von u.a. Temperatur, Luftfeuchte (DHT22) und Einstrahlung (BH1750). Die Programmierung der zugehörigen Mikrokontroller (ESP8266/ESP32) gehört dabei genauso zur Tätigkeit der Schüler/innen wie die Visuali-

sierung und Auswertung der Messdaten in *Node-Red* und *Excel*, das analoge Messen des Pflanzenwachstums mittels Meterstab sowie das Ernten und das Wiegen der Nutzpflanzen. Die Arbeit zweier Schüler an den Pflanzenkübeln ist in Abbildung 4 zu sehen.

Im Rahmen der bisherigen Untersuchungen wurde unter anderem eine deutliche Reduzierung des Ertrages – rund 20 % (nach Masse) – der unter dem Agri-Photovoltaik-Anlagenteil angebauten Nutzpflanzen (Zwiebeln und Knoblauch), im Vergleich zu denen der nicht beschatteten Pflanzfläche nachgewiesen. Vorteilhaft hingegen sind in diesem Anlagenteil signifikante Wassereinsparungen erfolgt. Neben der Durchführung von Messungen wird mit den Schüler/inne/n auch das Thema Messfehler behandelt, um die Ergebnisse besser einordnen und Fehlinterpretationen reduzieren zu können.



Abb. 4. Schüler bei der Arbeit am Agri-PV-Versuchsstand

Die Auswertung erfolgt nach Tabelle 1 auf Basis der Masse der Erträge von Knoblauch und Zwiebeln unter der Photovoltaik-Anlage (beschattet) und unter freiem Himmel (nicht beschattet). Eine weitere Untersuchung der Ertragsmessung von Karotten mit analogen Messmethoden lieferte vergleichbare Ergebnisse.

Ertrag	Beschattet [kg]	Nicht beschattet kg]	Quotient [%]
Knoblauch	1,91	2,13	89,67
Zwiebel	3,34	4,42	75,57
Summe	5,25	6,55	80,15

Tab. 1. Ergebnisse der Ertragsmessung

### 3.2 Schüler/innenforschungsarbeiten (Besondere Lernleistung / Jugend Forscht)

Schüler/inne/n der Oberstufe wird die Möglichkeit gegeben, über 12–18 Monate an ihrem eigenen Forschungsprojekt rund um das Thema Agri-Photovoltaik zu arbeiten. Hierzu kommen sie alle 14 Tage für einen halben Tag an die HTWK. Im Gegensatz zur GTA arbeiten die Schüler/innen hier freier, aber auch intensiver bzw. in einem höheren Detailgrad an einem speziellen Thema. Ziel ist es, dass die Schüler/innen eine Methode oder ein Mess- bzw. Analyseverfahren entwickeln und testen, mit welchem ein quantifizierbares, messbares Ergebnis zum Thema Agri-Photovoltaik möglich ist. Die Themen können von den Schüler/inne/n frei gewählt werden, wobei die grundsätzlich zu lösenden Probleme im Vorhinein besprochen werden. Anhand einer aktuellen Schüler/innen-Forschungsarbeit werden im Folgenden die Vorgehensweise und die Ergebnisse in den verschiedenen Bearbeitungsphasen dargestellt:

#### Findungsphase (Themenfindung und Zielsetzung):

Mit der grundlegenden Idee, durch Photovoltaik beschattete Pflanzen mit freistehenden Pflanzen gleicher Art zu vergleichen, werden mit den Schüler/inne/n Möglichkeiten der Bewertung diskutiert. Während bei der Photovoltaik mit der Leistung eine gut messbare und vergleichbare Größe vorhanden

ist, ist die Veränderung der Pflanzen messtechnisch nicht so einfach zu erfassen. Der von einem Schüler gewählte Ansatz sieht die zyklische Aufnahme von Bildern und deren Auswertung anhand von Grünanteilen im Bild vor. Die Bilder sollen dabei automatisch mit einer Abtastrate von einer Stunde aufgenommen und entweder direkt oder im Postprozess ausgewertet werden. Aufbauend auf dem Konzept wird mit diesem Schüler über die Details des Lösungsansatzes gesprochen und ein grober Ablaufplan zur Realisierung mit definierten Zwischenschritten vereinbart. An dieser Stelle ist vonseiten der Betreuer/innen das Ziel, es dem Schüler zu ermöglichen, ein eigenes Konzept frei zu entwickeln. Zum einen, um die Motivation zu erhöhen und zum anderen, um eine Lösung außerhalb der im Hochschulalltag bestehenden Denkmuster und Methoden zu erhalten.

#### Umsetzungs- und Auswertephase:

Ausgehend von dem erarbeiteten und diskutierten Konzept wird seitens des Schülers eine Umsetzungsstrategie entwickelt. Hierbei sollten sowohl die zur Verfügung stehende Zeit als auch die Materialkosten beachtet werden.

Die Arbeiten des Schülers umfassten dabei die Installation und automatisierte Steuerung einer PTZ-Kamera (Pan, Tilt & Zoom), die Abspeicherung der Bilddaten auf einem Server sowie deren Visualisierung mittels der Softwareoberfläche *Node-Red* über

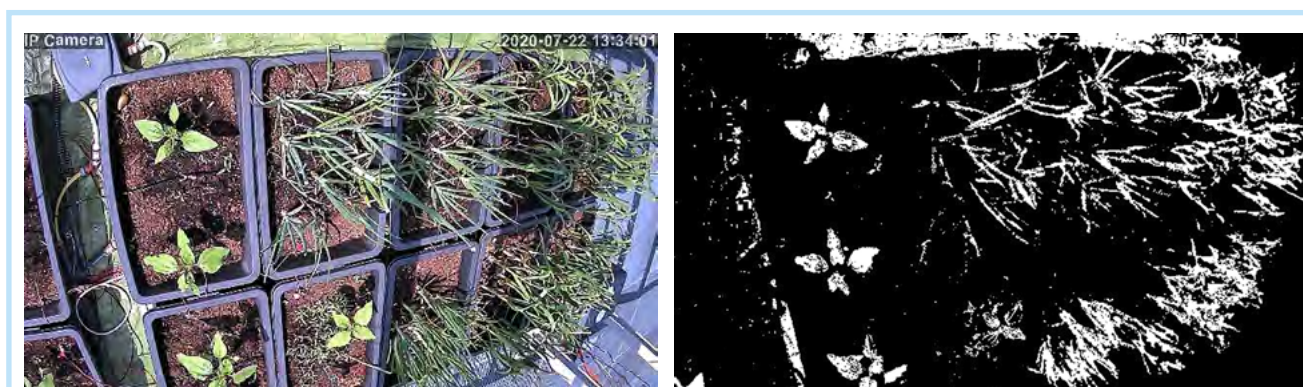


Abb. 5. Aufnahmen der Pflanzen mittels PTZ Kamera (links), Filterung der Grünanteile (rechts)

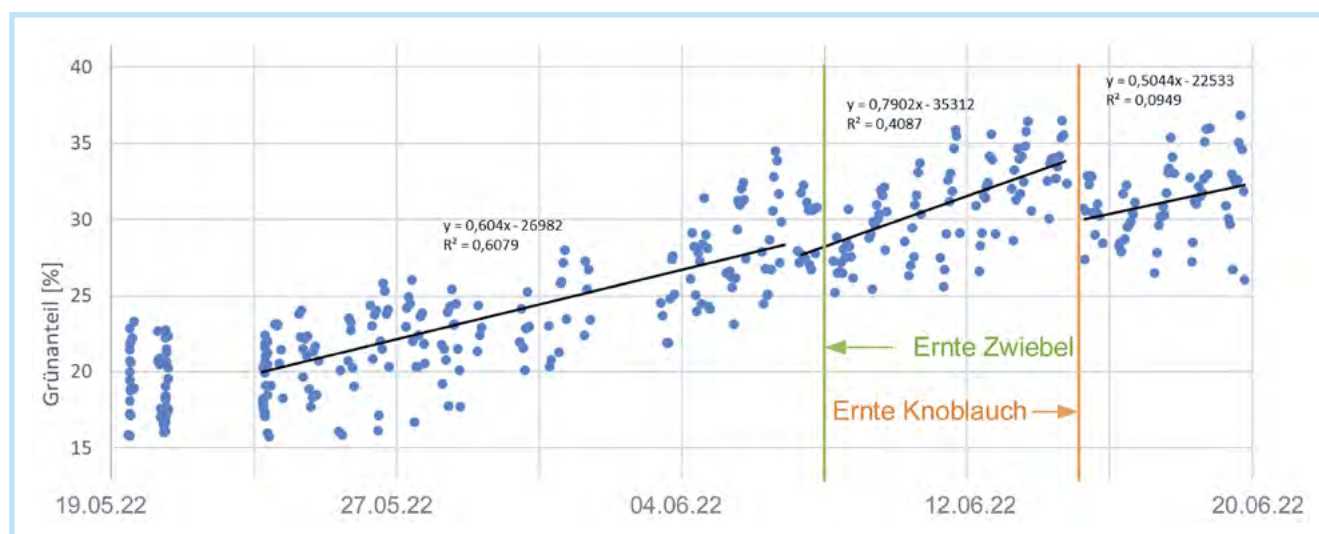


Abb. 6. Bestimmung des Pflanzenwachstums über den Grünanteil im Bild (Ergebnisse einer Schülerforschungsarbeit)

selbst geschriebene Programmbausteine in *Java Skript* und *HTML*. Auf dieser Basis können zyklische Bilddaten generiert und abgespeichert werden, welche im Postprozess mittels eines in Python geschriebenen Programms ausgewertet werden. Wie in Abbildung 5 zu sehen, ist es mittels der gewählten Kamera möglich, auswertbare Bilder aufzunehmen, das Wachstum zu beschreiben sowie signifikante Ereignisse wie die Erntephasen in den Messdaten zu erkennen. Als Ergebnis konnte bei den Pflanzen der Agri-Photovoltaik-Anlage ein höherer Grünanteil (im Mittel 55%) als bei denen der Referenzfläche (im Mittel 41%) bestimmt werden. Die Ergebnisse decken sich mit Ergebnissen der GTA, welche im Rhythmus von zwei Wochen die Höhe der Pflanzen manuell misst. Die Grünanteile decken sich somit mit der sichtbaren (grünen) Biomasse.

Neben der erfolgreichen Umsetzung und Auswertung können von dem durchführenden Schüler auch Grenzen und Probleme seines Ansatzes während der Bearbeitung selbst erfahren und eigene neue Lösungswege herausgearbeitet werden.

### 3.3 Weitere Projektbausteine

Neben den zyklisch stattfindenden Angeboten, wie dem Ganztagesangebot und den Schüler/innenforschungsarbeiten, wurden Teilthemen für Projektstände und Projektwochen erarbeitet. Hierbei war das Ziel, eine deutlich jüngere Zielgruppe (Schüler/innen ab der 4. Klasse) anzusprechen. Bei den Projektständen standen kleinere praktische Tätigkeiten, wie das Messen des PV-Ertrags bei verschiedenen Einstrahlungen und Sonnenständen mittels Modells oder der Aufbau einer Schaltung zur Messung von Temperatur und Bodenfeuchte, im Fokus. In Abbildung 7 ist ein entsprechender Projektstand, welcher beim Silbersalz Festival in Halle aufgebaut wurde (links) sowie die Arbeit mit einer fünften Klasse im Rahmen der Projektwoche, zu sehen.

Im Gegensatz zu den Projektständen konnten im Rahmen der Projektwoche (Zielgruppe 4. und 5. Klasse), ähnlich wie bei der GTA und den Schüler/innenforschungsarbeiten, eigene Forschungsfragen aufgestellt und während der Projektwoche praktisch untersucht werden. Im Fokus stand die Untersuchung

eines zentralen Phänomens, bei welchem dem unterschiedlichen Wachstumsverhalten von Pflanzen auf den Grund gegangen wurde. Um das Wachstumsverhalten und den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Wachstum zu klären, wurde mittels modellbasierter Untersuchungen ein System von Aktivitäten und Diskursen, das die Lernenden tiefer in den Inhalt einbezieht und epistemische Merkmale wissenschaftlichen Wissens verkörpert, umgesetzt: Ideen, die in Form von Modellen dargestellt werden, sind überprüfbar, revidierbar, erklärbar und beruhen auf Vermutungen. Wissenschaftliche Erkenntnisse in Form von Modellen und Theorien sind die wichtigsten Katalysatoren für neue Vorhersagen, Erkenntnisse über Phänomene und zu prüfende Hypothesen; sie sind nicht einfach „Endprodukte“ der Forschung (ACHER, 2007; WINDSCHITL et al., 2008). Für die Wahrnehmung des Phänomens und der unterschiedlichen Wachstumsfaktoren durch die Lernenden wurde vorab eine Hausaufgabe konzipiert, bei der Kresse unter möglichst unterschiedlichen Bedingungen angepflanzt werden sollte. Die Schüler/innen überlegten sich dazu, auf welchem Substrat (z.B. Erde, Sand, Küchenpapier) und an welchen Orten sie ihre Kresse pflanzen wollen. Die Auswertung der mitgebrachten Kressestadien war der Start in die Projektwoche an der HTWK. Innerhalb der Woche entwickelten die Schüler/innen ein Modell, in welchem sie die verschiedenen Einflussfaktoren auf Pflanzen, Photovoltaik und Agri-Photovoltaik entwickelten. Während der Projektwoche wurden die Parameter Licht und das Messen der Parameter Bodenfeuchtigkeit und Temperatur mit selbstgebauter Messtechnik fokussiert. In kleinen Experimenten, sowie Messungen am Versuchsstand auf dem Dach der HTWK, konnte das Modell Schritt für Schritt verfeinert werden. Dabei bekamen die Schüler/innen einen Einblick in den Aufbau einer Photovoltaikanlage und konnten Sensoren und Mikrokontroller zu einem Messsystem für Bodenfeuchte und Temperatur zusammenbauen. Zusätzlich wurde der Temperatureinfluss auf Kresse im Klimaschrank beobachtet und Sonnenblumen am Versuchsstand gepflanzt, bei welchen täglich das Wachstum gemessen werden konnte. Die Ergebnisse der Experimente und die Entwicklung ihrer Untersuchungen dokumentierten die Schüler/innen protokollarisch in einem vorbereiteten Forscherheft.



Abb. 7. Zur greifbaren Einführung in die Agri-Photovoltaik wurden Projektstände (links) aufgebaut und Projektwochen (rechts) durchgeführt

Die Projektwochen wurden in Zusammenarbeit mit der Martin-Luther-Universität durchgeführt. Die thematische und didaktische Ausgestaltung fand dabei primär durch den Studiengang Lehramt für Grundschulen im Fach Sachunterricht statt.

#### 4 Fazit & Ausblick

Die Arbeit mit den Schüler/innen verschiedener Altersgruppen und in verschiedenen Formaten zeigt, dass unabhängig vom Alter ein großes Interesse an Themen rund um Energiewende und Klimawandel vorhanden ist. Durch die praktische, selbstständige Forschung zum Thema Agri-Photovoltaik können Schüler/innen Angebote gemacht werden, in denen sie ihre Interessen, Kompetenz und Vorwissen aus unterschiedlichen schulischen Fächern, insbesondere Physik, Informatik und Biologie, einbringen können. Die Bandbreite des Themas ermöglicht es, Schüler/innen in einer Gruppe (GTA) oder Klasse (Projektwoche) mit verschiedensten Interessen auch langfristig für das Thema zu begeistern und zur Mitarbeit bzw. dem praktischen Erforschen eigener Fragestellungen sowie der Validierung bestehender Erkenntnisse anzuregen. So ist die Kerngruppe der GTA bereits im dritten Jahr aktiv am Projekt beteiligt.

Es sind insbesondere die praktischen Tätigkeiten wie einpflanzen, ernten, programmieren, Schaltungen löten, Pflanzenwachstum messen für die Schüler/innen spannend und auch als Programmpunkt im Anschluss an den regulären Unterricht gut realisierbar. Weiterhin eignet sich der vergleichsweise träge Prozess des Pflanzenwachstums gut, um diesen über einen längeren Zeitraum in größeren zeitlichen Abständen (14-tägig) zu beobachten und zu protokollieren. Durch die Jahreszeiten sind viele Aktionen und Fristen durch die Natur vorgegeben und strukturieren so automatisch ein stückweit das Vorgehen der Schüler/innen bzw. motivieren zu einem bestimmten Zeitpunkt Zwischenziele zu erreichen. So müssen Pflanzen rechtzeitig ausgewählt, eingepflanzt und abgeerntet, sowie ein geeignetes Konzept zur Bewässerung oder zur Bildaufnahme erstellt und umgesetzt werden.

Mit Nutzung der bisherigen und bis Ende des Jahres noch generierten Erkenntnisse soll eine Weiterentwicklung und Forschung auf dem Gebiet mit einem stärkeren Fokus auf der Beobachtung und Analyse verschiedener Pflanzen u.a. auf das Wachstum, den Ertrag, Stresssymptome und Erkrankungen in einem weiteren Schüler/innenforschungsprojekt stattfinden. Im Vordergrund steht hierbei die Untersuchung von Nutzpflanzen auf die Veränderung des Klimas und die Möglichkeiten, die durch Agri-Photovoltaik entstehen. Hierbei sollen sowohl passive Effekte (z.B. Verschattung) als auch aktive Eingriffe, wie Wasserspeicherung und bedarfsgerechte Versorgung, zusammen mit den Schüler/innen untersucht werden.

#### Danksagung

Wir danken den Schüler/innen des Wilhelm-Ostwald-Gymnasiums und des Kant Gymnasiums sowie den beteiligten Lehrkräften für die produktive und konstruktive Zusammenarbeit. Weiterhin danken wir dem Leibniz Institut für Agrarentwick-

lung in Transformationsökonomien (IAMO) für die fachliche Beratung sowie der Robert Bosch Stiftung für die Förderung. Das Projekt wird gefördert von der Robert Bosch Stiftung im Rahmen des Programms *Our Common Future*.

#### Literatur

ACHER, A., ARCA, M. & SANMARTÍ, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Wiley Periodicals, Inc. Sci Ed 91*, 398–418.

Deutscher Bundestag (2022). Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor. URL unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/04\\_EEG\\_2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/04_EEG_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=8) (28.11.2022).

Deutsches Institut für Normung e.V. (2021). *Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung*. Berlin: Beuth Verlag.

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. & VOLLPRECHT, J. (2022). Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. April 2022. 2. Aufl. *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) (Hrsg.)*. S. 11–20.

Umweltbundesamt (2022). *Die erneuerbaren Energien im Jahr 2021*. URL unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/die-erneuerbaren-energien-im-jahr-2021> (12.10.2022).

WIRTH H., (2022). *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Fraunhofer ISE*, URL unter [www.pv-fakten.de](http://www.pv-fakten.de) (30.10.2022).

WINDSCHITL M., THOMPSON J. & BRAATEN M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Wiley Periodicals, Inc. Sci Ed 92*, 941–967.

WYDRA, K., VOLLMER, V., SCHMIDT, S., PRICHTA, S., KUNZE, R. & AULICH, H. (2022). Potential der Agri-Photovoltaik in Thüringen. *Fachhochschule Erfurt, SolarInput e.V.* 17, 107–123.

Prof. Dr.-Ing. MATHIAS RUDOLPH, [mathias.rudolph@htwk-leipzig.de](mailto:mathias.rudolph@htwk-leipzig.de), ist Hochschulprofessor für Industrielle Messtechnik an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

JULIAN HOFBAUER M.ENG., [julian.hofbauer@htwk-leipzig.de](mailto:julian.hofbauer@htwk-leipzig.de), ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Projektgruppe Industrielle Messtechnik an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

*RADIM VITASEK, radim.vitasek@stud.htwk-leipzig.de, ist studentischer Mitarbeiter in der Projektgruppe Industrielle Messtechnik an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig*

*JESSICA STEBE, jessica.stebe@stud.htwk-leipzig.de, ist studentische Mitarbeiterin in der Projektgruppe Industrielle Messtechnik an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig*

*STEFAN HOFBAUER, s.hofbauer@sks-halle-sued.bildung-lsa.de, ist ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsbereich Sachunterricht am Institut für Schulpädagogik und Grundschuldidaktik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg*

*INGA SCHLESIER, inga.schlesier@bbw-halle.de, ist Koordinatorin des Saline Technikums und ehemalige Mitarbeiterin im Arbeitsbereich Sachunterricht am Institut für Schulpädagogik und Grundschuldidaktik der Martin Luther Universität Halle-Wittenberg. ■□*