



Abschlussbericht

zu dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
geförderten Projekt

PiKE

Pflanzenbau im Zuge von Klimawandel und Energiewende

– ein Forschungsprojekt für Schüler*innen

AZ 38399/01

Laufzeit

01.01.2023 – 31.03.2025

Institution:
Verfasser:

HTWK Leipzig
Prof. Dr.-Ing. Mathias Rudolph

Leipzig, der 30. Juni 2025

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
TABELLENVERZEICHNIS	3
ZUSAMMENFASSUNG DES BERICHTS	4
ABSCHLUSSBERICHT ZU DEM GEFÖRDERTEN PROJEKT PIKE - PFLANZENBAU IM ZUGE VON KLIMAWANDEL UND ENERGIEWENDE – EIN FORSCHUNGSPROJEKT FÜR SCHÜLER*INNEN	5
GEGENSTAND UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTES	5
DARSTELLUNG DER ARBEITSSCHRITTE UND DER ANGEWANDTEN METHODEN ...	5
AP1 Projektvorstellung an Schulen	5
AP2 Einführungsworkshop	6
AP3 Pflanzenanbau - Inhaltliche Einarbeitung zum Schwerpunkt Wasser und Licht	6
AP4 Versuchsaufbau - Schwerpunkt Wasser und Licht	7
AP5 Pflanzenanbau - Inhaltliche Einarbeitung zum Schwerpunkt Insekten und Wildkräuter	8
AP6 Versuchsaufbau - Schwerpunkt Insekten und Wildkräuter	9
AP7 Agri-Photovoltaik - Übertragung/Anwendung der Ergebnisse	10
AP8 Verstetigung der Projektergebnisse zur Nachnutzung	11
AP9 Dokumentation der Projektergebnisse	11
DARSTELLUNG DER TATSÄCHLICH ERZIELTEN ERGEBNISSE	11
DISKUSSION	13
Inwieweit wurden die verfolgten Ziele erreicht?	13
Woraus ergeben sich die Abweichungen der erhaltenen Ergebnisse (aufgetretene Probleme, Veränderungen bezüglich Strategie oder angewandter Methoden)?	14
Wie gestaltete sich die Arbeit mit den unterschiedlichen Kooperationspartnern Institute, Firmen, Kommunen, Länder)?	14
ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	15
Wie werden die Ergebnisse veröffentlicht?	15
Wer partizipiert an den Ergebnissen?	15
Wird das Vorhaben über die Projektlaufzeit hinaus weitergeführt?	16
FAZIT	16

Hat sich die Vorgehensweise bewährt (evtl. veränderte Lösungsansätze, Ideen usw.)?
..... 16

Werden Änderungen der Zielsetzung notwendig? 16

ANLAGEN/ANHANG 18

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Insektenmonitoring-System, Messaufbau an der HTWK Leipzig 9

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Übersicht Messorte 9

ZUSAMMENFASSUNG DES BERICHTS

Das Projekt PiKE – Pflanzenbau im Zuge von Klimawandel und Energiewende untersuchte innovative Möglichkeiten der Doppelnutzung landwirtschaftlicher Flächen durch Agri-Photovoltaik (Agri-PV). Ziel war es, gemeinsam mit Schüler*innen und Auszubildenden die Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwachstum, Insektenvielfalt und dem Einsatz von Photovoltaik zu erforschen. Im Mittelpunkt stand dabei die praktische Anwendung von Sensorik, digitaler Messtechnik und nachhaltigen Anbaumethoden.

Durch praxisorientierte Workshops, Versuchsaufbauten und Exkursionen erhielten die Teilnehmenden Einblicke in Themen wie Pflanzenphysiologie, Insektenmonitoring und Regenwassermanagement. Dabei entstanden unter anderem ein LED-basierter Pflanzengesundheitssensor, ein automatisiertes Insektenmonitoringsystem sowie ein Regenwassernutzungskonzept unter PV-Modulen. Die Erkenntnisse zeigen positive Effekte der Agri-PV auf Ertrag, Biodiversität und Ressourcennutzung. Besonders Mischkulturen wie Bohnen und Erbsen profitierten von den veränderten Mikroklimabedingungen unter den PV-Modulen.

Trotz einzelner Herausforderungen, etwa bei der Umsetzung externer Messstandorte und der didaktischen Aufbereitung, wurde der Großteil der Projektziele erreicht. Das Projekt leistete einen wichtigen Beitrag zur MINT-Förderung, zur ökologischen Bildung und zur Entwicklung nachhaltiger Technologien und wird im Anschlussvorhaben „Renewable Skills“ weitergeführt.

ABSCHLUSSBERICHT ZU DEM GEFÖRDERTEN PROJEKT PIKE - PFLANZENBAU IM ZUGE VON KLIMAWANDEL UND ENERGIEWENDE – EIN FORSCHUNGSPROJEKT FÜR SCHÜLER*INNEN

GEGENSTAND UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTES

Die Energiewende prägt maßgeblich unseren Alltag, begleitet von einem Bevölkerungswachstum und den ständig wachsenden Herausforderungen im Bereich Raum- und Ressourcenknappheit. Um eine innovative Verknüpfung dieser beiden essenziellen Themen im Kontext der Grundversorgung der Bevölkerung zu schaffen, widmet sich unser Projekt der gemeinsamen Flächennutzung für Landwirtschaft und regenerative Energieerzeugung durch Photovoltaik – im Speziellen der Agri-Photovoltaik. In enger Zusammenarbeit mit Schüler*innen und Auszubildenden untersuchten wir dabei sowohl den Einfluss der Photovoltaik auf die Umwelt, insbesondere auf Pflanzen und Insekten, als auch den umgekehrten Effekt – den Einfluss der Umwelt auf die Leistungsfähigkeit der Photovoltaikanlagen. Diese facettenreiche Untersuchung ermöglichte es uns, wichtige Erkenntnisse für eine nachhaltige und ganzheitliche Betrachtung von Landnutzung und Energiegewinnung zu gewinnen.

DARSTELLUNG DER ARBEITSSCHRITTE UND DER ANGEWANDTEN METHODEN

AP1 Projektvorstellung an Schulen

Das Projekt „PiKE“ wurde wie geplant zu Beginn den Lehrkräften der beteiligten Gymnasien sowie den Ausbildern des Berufsbildungswerkes Leipzig vorgestellt.

Es wurden eine Reihe von Werbematerialien für unser Projekt erarbeitet, darunter Plakate, Flyer, Sticker, Fotomappen und Präsentationen. Diese Materialien wurden entwickelt, um sie den Schüler*innen sowie den Auszubildenden zu präsentieren und ihr Interesse zu wecken. Durch den Projektbeginn in einem bereits laufenden Schuljahr wurde in der ersten Projektphase fast ausschließlich mit Schülern des Wilhelm-Ostwald-Gymnasium (WOG) gearbeitet, mit denen bereits eine Kooperation durch das Vorgängerprojekt bestand. Seitens des Kant Gymnasiums sowie des Berufsbildungswerkes Leipzig wurde der Kontakt zu den Fachlehrern sowie den Ausbildern gepflegt. Dabei wurden Konzepte besprochen und umgesetzt. Die Einbindung der Auszubildenden startete mit einem individuellen Einführungsworkshop am 06.09.2023. Ab dem 13.09.2023 startete die neue Gruppe, bestehend aus allen Auszubildenden des Berufsbildungswerkes Leipzig sowie Schüler*innen beider projektbeteiligten Gymnasien, gemeinsam im Projekt für das Schuljahr 2023/2024.

Die im AP1 für September 2023 geplante Vorstellungsphase wurde bereits im August 2023 durchgeführt. Neben der Vorstellung an Schulen wurde das Projekt interessierten Schulklassen an der HTWK vorgestellt sowie im Rahmen von kleinen Workshops beworben. So wurden auch Schüler*innen deren Schulen nicht am Projekt beteiligt sind auf das Projekt aufmerksam gemacht, um die aktive Mitarbeit am Projekt zu ermöglichen.

AP2 Einführungsworkshop

Da in der ersten Jahreshälfte 2023 lediglich mit Schüler*innen des WOG gearbeitet wurde, wurde der Einführungsworkshop verschoben. Dieser fand zu Beginn des Schuljahres 2023/24 statt. Dabei wurden nicht nur die grundlegenden Informationen zum Projekt präsentiert, sondern auch bisherige Erfolge und das bisherige Vorgehen hervorgehoben. Besondere Aufmerksamkeit erhielten die vielfältigen Aufgaben, die den Schüler*innen in den vergangenen Jahren übertragen wurden und zu den bisherigen Erfolgen des Projekts beitrugen.

AP3 Pflanzenanbau - Inhaltliche Einarbeitung zum Schwerpunkt Wasser und Licht

Versuchsplanung

Zu Beginn von AP3 wurde in Zusammenarbeit mit den Schüler*innen sowie dem Gärtnermeister und Ausbilder des Berufsbildungswerkes Leipzig Herr Stein ein Bepflanzungsplan erstellt. Die Pflanzen wurden nach gärtnerischen Aspekten sowie aus versuchspraktischer Sicht ausgewählt. Ziel war es Unterschiede im Ertrag unter und neben der Agri-PV Anlage zu untersuchen und bzgl. des Ertrags zu quantifizieren sowie die Schüler*innen mit dem Konzept der Agri-PV vertraut zu machen.

Bodenanalyse zur Bodenaufbereitung – Erstellung eines Düngekonzepts

Zur Aufbereitung des Bodens wurde mit den Schüler*innen eine Analyse im Labor der HTWK durchgeführt. Diese Analyse beinhaltete eine Messung des TOC-Werts und pH-Werts. Damit konnte in Zusammenarbeit mit Herrn Stein ein Düngekonzept erstellt werden. Mit dem aufbereiteten Boden konnten sich die Projektbeteiligten auf die Aussaat der nächsten Kulturen konzentrieren und den Bepflanzungsplan erstellen.

Exkursion Botanischer Garten für Lern- und Erfahrungsmöglichkeiten

In Kooperation mit dem Botanischen Garten der Universität Leipzig konnte den Schüler*innen im Rahmen einer Exkursion sowie Führung durch die botanische Sammlung ein exklusiver Einblick in die Tier- und Pflanzenwelt der Institution gegeben werden. Durch die Vor- und Nachbereitung haben die Schüler*innen bereits ein Umweltbewusstsein erlangt, welches durch die Expertise unseres Betreuers vor Ort Herrn Engelmann gefestigt werden konnte. Diese Einblicke in das kulturelle Erbe haben uns das Thema Biodiversität und Ökosysteme nähergebracht.

AP4 Versuchsaufbau - Schwerpunkt Wasser und Licht

Gesundheitsüberwachung – Prüfung der Pflanzengesundheit durch Lichtreflexion der Blätter

Im AP4 lag der Fokus auf der messtechnischen Erfassung von Wassermangel, Lichtmangel und allgemeinem Stresszustand bei Pflanzen. Zu Beginn des Projektzeitraums wurde eine umfassende Recherche zu geeigneten Messverfahren durchgeführt. Auf Basis dieser Recherche wurden Messmethoden zur präzisen Bestimmung des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) und des PRI (Photochemical Reflectance Index) entwickelt.

Zur Vermittlung der theoretischen Grundlagen erhielten die teilnehmenden Schüler*innen eine Einführung in Lichtspektren und den Aufbau von LEDs. Darauf aufbauend wurde ein einfacher, funktionsfähiger Sensor konstruiert, mit dem sich NDVI- und PRI-Werte erfassen lassen. Diese Sensorik ermöglichte es, prototypisch Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Pflanzen zu ziehen.

Im weiteren Verlauf des Projekts (01.09.2023 – 30.04.2024) wurden sowohl das Messsystem als auch der entwickelte Sensor weiter optimiert. Zudem erfolgte die erfolgreiche Integration des Sensors in die Lehre im Rahmen des Praktikums „Industrielle Messtechnik“. Ein weiterer Schwerpunkt lag im Vergleich der entwickelten Messmethoden mit kamerabasierten Verfahren. Hierbei kamen sowohl kommerzielle NDVI-Kameras als auch alternative Ansätze mit Farbfiltern (z. B. blaue Folie) und unterschiedlichen Kamerasystemen (Smartphone, Raspberry Pi) zum Einsatz. Es zeigte sich, dass auch die kostengünstige Variante mit Smartphone und Farbfilter, trotz geringerer Genauigkeit, verwertbare Informationen zum Pflanzenzustand liefern kann.

Betreuung von Schülerinnen in der Ferienhochschule

Im Rahmen der *Ferienhochschule für Girls* an der HTWK Leipzig fanden in Kooperation mit dem Makers Lab zwei Projekttag statt. Ziel war es, den Schülerinnen einen praxisnahen Einblick in Programmierung und erneuerbare Energien zu geben.

Zu Beginn erhielten sie eine Einführung in Arduino und programmierten einfache Blink-LEDs, um Grundkenntnisse im Programmieren zu erwerben. Anschließend wurde ein Sensorsystem zur Temperaturüberwachung für einen Eiswagen gebaut. Zwei Sensoren erfassten die Temperatur in der Umgebung und im Eisfach, außerdem wurden die Werte auf einem zuvor programmierten Display angezeigt.

Die Stromversorgung erfolgte über ein Photovoltaikmodul, das die Schülerinnen selbst am Eiswagen montierten und angeschlossen haben. Diese versorgte das System autark mit Energie. So lernten die Schülerinnen nicht nur technische Grundlagen, sondern auch den praktischen Nutzen erneuerbarer Energien kennen.

AP5 Pflanzenanbau - Inhaltliche Einarbeitung zum Schwerpunkt Insekten und WildkräuterSchwerpunktthema Insekten:

Die Einführung zum Thema Insekten fand am 06. März 2024 am Botanischen Garten in Leipzig statt. Neben einer thematischen Führung durch den Garten wurden durch Herrn Engelmann folgende Punkte thematisiert:

- Der Botanische Garten der Universität Leipzig
- Was ist ein Insekt?
- Möglichkeiten der Klassifizierung und Vielfalt der Insekten
- Bedeutung verschiedener Pflanzen für die Insekten
- Rolle der Insekten im Ökosystem
- Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Insekten
- aktuelle Möglichkeiten der Erfassung
- Citizen Science Beteiligung der Bevölkerung am Insektenmonitoring

Parallel wurden an der HTWK die Grundlagen zu einem automatisierten Insektenmonitoring erarbeitet. Nach einer Recherchephase zu möglichen Systemen wurde der Ansatz des OpenSource Projektes KInsecta ausgewählt. Ein Bausatz zur optischen Erkennung von Insekten wurde freundlicherweise kostenfrei für das Projekt zur Verfügung gestellt. Der von PiKE-Projektmitarbeitenden aufgebaute und aufbereitete Bausatz, siehe AP6, wurde in dem Schulhalbjahr 2024/25 im Rahmen von zwei besonderen Lernleistungen (BeLL) praxisnah an der HTWK Agri-PV Anlage getestet und weiterentwickelt. Eine Arbeit fokussierte sich hierbei hauptsächlich auf das Messsystem und dessen Optimierung. Es wurde hier unter anderem versucht, die Genauigkeit des Messsystems zu verbessern, indem verschiedene Klassifikator-Modelle untersucht worden sind. Die zweite BeLL-Arbeit fokussierte sich auf das Erstellen von Bepflanzungsszenarien für das Anlocken verschiedener Insekten. Hier wurde zunächst recherchiert, welche Pflanzen bestimmte Insekten bevorzugen. Dabei wurde sich auf vergangene Studien bezogen. Anschließend wurde durch den Schüler ein Bepflanzungsplan erstellt und Anfang April 2025 durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Abschlussberichtes sind die BeLL-Arbeiten noch nicht abgeschlossen. Die endgültigen Ergebnisse der Arbeiten, werden Juli 2025 erwartet.

Schwerpunktthema Wildkräuter

Um den Einfluss des Klimawandels bzw. hoher Temperaturen auf verschiedene Pflanzen sichtbar zu machen, wurde ein Messsystem entwickelt, mit welchem an verschiedenen Messorten die Temperatur und Luftfeuchte durch verschiedene Schüler*innengruppen gemessen werden soll. Hierzu wurde zusammen mit den Schüler*innen, Auszubildenden und Studierenden verschiedene Messkonzepte erarbeitet.

Eine ebenfalls für das AP5 geplante Exkursion zum Landwirtschaftlichen Zentrum Borna musste aufgrund von Krankheit leider verschoben werden. Ein Ersatztermin wurde gesucht, jedoch konnte keiner bis zum Projektende gefunden werden.

AP6 Versuchsaufbau - Schwerpunkt Insekten und Wildkräuter

Schwerpunktthema Insekten:

Um mit den Schüler*innen und Auszubildenden das Thema Erkennung von Insekten mittels technischer Hilfsmittel bearbeiten zu können, war es notwendig ein technisch funktionsfähiges System an der HTWK aufzubauen (Abbildung). Als Grundlage für den Aufbau wurde der Ansatz von Kinsecta verwendet. Dieser Ansatz zeichnet sich durch die Integration vielfältiger Technologien zur Erfassung von Fluginsekten als Multisensorsystem aus. Basierend auf der Flügelschlagfrequenz, Umweltdaten sowie einer Bildaufnahme ist es möglich, Insekten zu erkennen. Aufgrund des für eine Klassifizierung in Arten hohen Aufwands und benötigter entomologischer Erfahrung ist eine Erkennung von Insekten auf der Ebene der Insektenordnung angedacht.

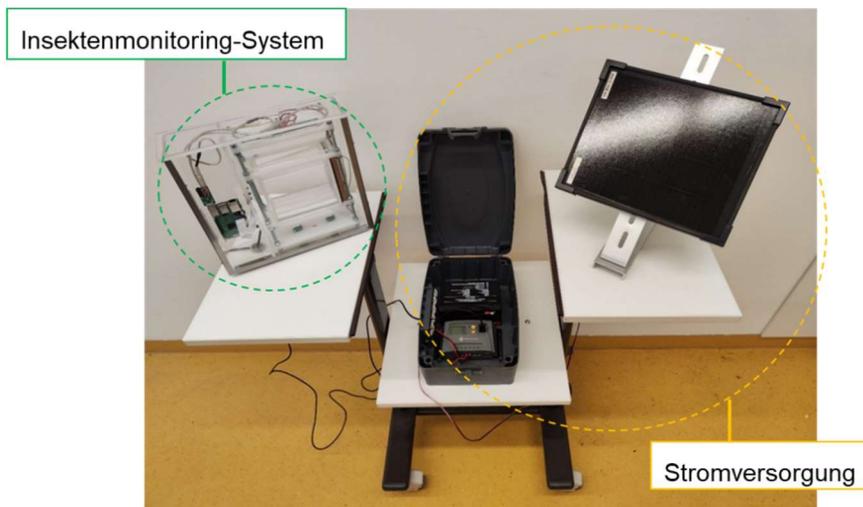


Abbildung 1 Insektenmonitoring-System, Messaufbau an der HTWK Leipzig

Schwerpunktthema Wildkräuter

Wie in AP5 beschrieben wurden Messsysteme für verschiedenen Anwendungsorte aufgebaut. In Tabelle sind die Messorte aufgeführt die im Projekt durchgeführt wurden.

Tabelle 1 Übersicht Messorte

Messort	Untersuchungsgegenstand Aktivität	/ Bearbeitungsstand
Forschungsgründach Botanischer Garten der Universität Leipzig	Untersuchung des Einflusses von unterschiedlicher Dachbegrünung auf das Stadtklima, Messungen am Botanischen Garten Leipzig	Sommer 2023 durchgeführt
Berufsbildungswerk Leipzig	Aufbau eigener einfacher Messsysteme zur Überwachung der Bodenfeuchte (beschattet, unbeschattet) sowie Einbindung in die Bewässerung und Bepflanzung der Kübel	Workshop fanden im Sommer 2023 statt

In Tabelle 2 sind die Messorte zu entnehmen, die in Planung waren, jedoch aus Personalgründen und Probleme bei der Terminfindung nicht durchgeführt werden konnten. Die Vorbereitung für den Aufbau der Messorte wurde weitgehend abgeschlossen. Dadurch ist es möglich, die Workshops im Anschlussprojekt durchzuführen.

Tabelle 2 Übersicht Messorte – nicht durchgeführt

Messort	Untersuchungsgegenstand Aktivität	/ Bearbeitungsstand
Aufforstungsfläche Hufeisensee Halle Saale	Aufbau eigener einfacher Messsysteme mit einer Schüler*innengruppe (4. Klasse in Zusammenarbeit mit dem Saline Technikum Halle Saale) zur Überwachung der von den Schüler*innen gepflanzten Bäume, ca. 15 Messsysteme	Messsystem an der HTWK vorhanden, bereits weitgehend technischer und didaktischer aufbereitet
Klimagarten Halle Saale	Aufbau eigener einfacher Messsysteme mit einer Schüler*innengruppe	Workshop weitgehend vorbereitet

AP7 Agri-Photovoltaik - Übertragung/Anwendung der Ergebnisse

Im Rahmen des Themenschwerpunkts Wasser wurde der bestehende Versuchsstand um ein digitales Messsystem zur Erfassung der Niederschlagsmenge und eine auf Regenwasser basierende Bewässerung erweitert. Der Aufbau der Regenrinnen und die technische Umsetzung erfolgten mit Unterstützung von Schüler*innen, die im Rahmen eines Praktikums an der HTWK Leipzig mitarbeiteten.

Für die Füllstandsmessung des Regenwasserbehälters kam ein *Time-of-Flight*-Sensor zum Einsatz, der präzise Abstandsmessungen zur Bestimmung des Wasserstandes ermöglicht. Die erfassten Messdaten wurden über ein Mikrocontrollersystem an einen Server übertragen und live auf einem Display visualisiert.

Die Schüler*innen lernten dabei nicht nur den Umgang mit Sensorik und Mikrocontrollern, sondern übernahmen auch eigenständig die Umrechnung der Sensordaten in nutzbare Füllstandswerte. Zudem entwickelten sie eine passende Halterung für den Sensor mithilfe von CAD-Software und fertigten diese als 3D-Modell an, das anschließend am Wasserauffangsystem montiert wurde.

Das Projekt verband praktische Technikenkenntnisse mit einem anschaulichen Umweltbezug und trug so zum Verständnis digitaler Messsysteme im Kontext nachhaltiger Ressourcennutzung bei. Ebenso tragen die Erfassung der Niederschlagsmenge und die Nutzung von Regenwasser zur Bewässerung zur nachhaltigen Ressourcennutzung bei. Die gesammelten Daten helfen, Wasserverbrauch effizienter zu gestalten und können Modelle zur Wasserbewirtschaftung in der Landwirtschaft verbessern.

Die NDVI- Sensoren wurden hinsichtlich des Sensors angepasst und um ein Gehäuse erweitert, um diese an der Anlage applizieren zu können. Die Nutzung von NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) und PRI (Photochemical Reflectance Index) Sensoren erlaubt eine detaillierte Überwachung und Analyse der Pflanzengesundheit und Photosyntheseaktivität. Diese Daten sind entscheidend, um Stresszustände bei Pflanzen frühzeitig zu erkennen und die Effektivität von Bewässerungs- und Düngungsmaßnahmen zu optimieren. Durch die präzise Erfassung des Vegetationsindizes können Anbaustrategien angepasst und Erträge maximiert werden, während gleichzeitig der Ressourceneinsatz minimiert wird.

Das sich im Optimierungsprozess befindliche Insektenmonitoring-System soll genutzt werden, um die Biodiversität und ökologische Gesundheit der Agri-Photovoltaik Anlage zu überwachen, indem eine Möglichkeit zum Leiten der Insekten durch den Versuchsstand impliziert wird. Die gesammelten Daten unterstützen die Entwicklung von umweltfreundlichen Anbaumethoden und fördern das Verständnis

für ökologische Dynamiken. Die Optimierung wird aktuell (Mai 2025), wie AP5 schon beschrieben, in einer BeLL-Arbeit von einem Schüler umgesetzt. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind im Juli 2025 zu erwarten.

AP8 Verstetigung der Projektergebnisse zur Nachnutzung

Im Rahmen von AP8 lag der Fokus auf der nachhaltigen Sicherung und Weiterverwendung der im Projekt entwickelten Inhalte und Materialien. Ziel war es, die Ergebnisse in Form von übertragbaren Angeboten für verschiedene Zielgruppen nutzbar zu machen, etwa im Rahmen von Workshops, Projekttagen oder -wochen.

Hierzu waren ursprünglich zwei Projektstage am Berufsbildungswerk in Leipzig sowie zwei weitere mit einer vierten Klasse an einer Grundschule in Halle (Saale) geplant. Diese sollten mit Unterstützung des SalineTechnikums sowie des Berufsbildungswerks Leipzig umgesetzt werden. Gemeinsam wurde daran gearbeitet, ein flexibel einsetzbares Workshop-Format zu entwickeln, das auf unterschiedliche Altersgruppen und Bildungskontexte übertragbar ist.

Aufgrund wiederholter Terminprobleme und organisatorischer Einschränkungen konnten die geplanten Projektstage jedoch nicht wie vorgesehen durchgeführt werden. Die notwendigen Abstimmungen mit den Schulen und Partnern erwiesen sich innerhalb des verbleibenden Projektzeitraums als nicht realisierbar. Dennoch wurden die entsprechenden Inhalte technisch und didaktisch weitgehend aufbereitet.

Erste Teilangebote wurden im Projektverlauf bereits testweise an der HTWK Leipzig mit Schüler*innen im Rahmen von Wochenpraktika erfolgreich umgesetzt. Diese Erprobungen bildeten eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung eines modularen Workshopkonzepts zur Verstetigung der Projektergebnisse.

AP9 Dokumentation der Projektergebnisse

Die Arbeit am Projekt wurde kontinuierlich in Form von Arbeitsmaterialien, Präsentationen und Miniprotokollen dokumentiert.

DARSTELLUNG DER TATSÄCHLICH ERZIELTEN ERGEBNISSE

In unserem Projekt haben wir folgende Erkenntnisse gewonnen:

Bodenaufbereitung: Im Zuge unserer Forschungsarbeit haben wir festgestellt, dass das schlichte Einsetzen von Pflanzen nicht ausreichend ist, um unsere gewonnenen Erkenntnisse auf landwirtschaftliche Anwendungen zu übertragen. Daher haben wir uns auf die Schaffung optimaler Wachstumsbedingungen mittels gezielter Bodendüngung mit Kalk und Nitraten konzentriert. Diese Erkenntnisse führten zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit den Nährstoffbedürfnissen der Pflanzen und beeinflussten unsere Herangehensweise an die Bodenverbesserung nachhaltig.

Pflanzenauswahl und -kombination: Im Verlauf des aktuellen Projekts brachten die Auszubildenden den Vorschlag ein, den Fokus auf Biodiversität zu setzen und eine Vielzahl von Pflanzenarten anzubauen, anstatt uns auf eine einzige Sorte zu beschränken. Dieser Ansatz förderte unser vertieftes Verständnis für die Bedeutung der Vielfalt in landwirtschaftlichen Systemen. Die Erkenntnis, dass Pflanzen in ihrer Interaktion harmonisieren oder sich negativ beeinflussen können, schärfte unser Bewusstsein für die Komplexität von Pflanzeninteraktionen.

Mischkulturen: Unsere Erkenntnisse unterstreichen die positiven Auswirkungen von Mischkulturen. Der Aspekt, dass Pflanzen wie bspw. Karotten und Zwiebeln sich gegenseitig vor Schädlingsbefall schützen können, hat unser Interesse an nachhaltigen Anbaumethoden gestärkt. Sie verdeutlichte, wie gezielte Pflanzenkombinationen die Pflanzengesundheit fördern können.

Gesundheitsüberwachung: Eine weitere Komponente unserer Arbeit umfasst die Überwachung der Pflanzengesundheit. Hierfür haben wir in Zusammenarbeit mit den Schüler*innen einen LED-Sensor entwickelt, welcher die Gesundheit der Pflanzen verfolgt. Diese technologische Erkenntnis hat unser Verständnis für die Nutzung innovativer Werkzeuge zur Pflanzenüberwachung erweitert und verdeutlicht, wie Datenanalyse zur frühzeitigen Erkennung von Problemen beitragen kann.

Regenwassernutzung: Die Aufnahme und Nutzung von Regenwasser, welches von den Photovoltaik-Modulen herabrinnt, stellt eine weitere innovative Maßnahme dar. Dieses gesammelte Regenwasser dient dazu, die Pflanzen automatisch durch ein Bewässerungssystem zu versorgen, was die Nachhaltigkeit der Pflanzenbewässerung erhöht. Diese Erkenntnis hat unser Bestreben nach ressourcenschonenden Anbaumethoden gestärkt und verdeutlicht, wie Synergien zwischen verschiedenen Elementen des Projekts genutzt werden können.

Ertragserkenntnisse: Unsere Erkenntnisse zeigen, dass Bohnen und Erbsen unter den Photovoltaik-Modulen besonders gut gedeihen. Wir haben verstanden, dass der Schatten und die regulierte Temperatur unter den Modulen zu einem nahezu doppelten Ertrag führen können, insbesondere während des Hitzesommers. Gegensätzlich dazu konnte beobachtet werden, dass Süßkartoffeln auf der Freifläche einen wesentlich höheren Ertrag aufwiesen. Diese Erkenntnis beeinflusst unsere zukünftige Planung und betont die Potenziale der Agri-Photovoltaik im Hinblick auf erhöhte Erträge und nachhaltige Landnutzung. Die aufgenommenen Ergebnisse sind in der Anlage 1: Ertragsdokumentation anzusehen.

Vogelhaus: Im Rahmen einer besonderen Lernleistung (BeLL) wurde ein Nistkasten mit integrierten Dehnmessstreifen entwickelt, die das Gewicht im Inneren des Kastens erfassen. Ziel war es, auf diese Weise Veränderungen wie z. B. die Gewichtsentwicklung brütender Vögel oder Jungtiere zu dokumentieren. Die Verbindung von Sensorik und Naturschutz ermöglichte den Schüler*innen praxisnahe Erfahrungen im Bereich biologischer Datenerfassung und förderte das Verständnis für ökologische Zusammenhänge im Lebensraum Stadt.

Wurmbox: Als Ergänzung unseres Versuchsstandes haben wir zusammen mit einem Schülerpraktikanten eine Wurmbox angefertigt. In diese Box geben wir die Pflanzenabfälle der Ernten, um den Kompostierprozess zu überwachen. Durch den Einsatz verschiedener Messtechniken erhalten die Schüler*innen und Auszubildenden ein tieferes Verständnis für die nachhaltige Nutzung von Ressourcen. Die Wurmbox trägt nicht nur zur Reduzierung von Pflanzenabfällen bei, sondern veranschaulicht auch auf praktische Weise die Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft. Die Zusammenarbeit zwischen den Schüler*innen, die technisches Verständnis einbringen, und den Auszubildenden mit landwirtschaftlichem Wissen führte zu interessanten Ergebnissen und einer wertvollen Ergänzung der Wissensstände beider Gruppen.

Komplexität der Insekten: Insekten spielen eine entscheidende Rolle in terrestrischen Ökosystemen und beeinflussen eine Vielzahl ökologischer Prozesse, was ihre Bedeutung für das Projekt unterstreicht. Ihre vielfältigen Verhaltensweisen und physiologischen Eigenschaften spiegeln die Komplexität der Insektenwelt wider. Das Verständnis ihrer Interaktionen ist entscheidend, um die weitreichenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen des Rückgangs der Insektenpopulationen zu verstehen. Die fortlaufende Erforschung der Insektenvielfalt und ihres Verhaltens ist notwendig, um effektive Schutzmaßnahmen zu entwickeln und die Gesundheit unserer Ökosysteme zu erhalten.

Automatische Insektenerkennung: Die Einbindung der automatischen Insektenerkennung in das Projekt bringt für die Schüler*innen und Auszubildenden mehrere Vorteile, die sowohl die Bildung als auch die Forschung bereichern. Das System zum Insektenmonitoring einigt Bildverarbeitungstechniken und Sensortechnologien zur Erfassung und Analyse von flugaktiven Insekten. Das System ist bisher an insektenähnlichen Objekten getestet worden und soll zukünftig mit realen flugaktiven Insekten trainiert werden. Demnach werden die Insekten mittels ihrer Flügelschlagfrequenz und den Umweltdaten, welche bereits durch vorangegangene Projekte generiert werden, klassifiziert. Hier wurden bereits Erkenntnisse gesammelt, die das Insektenmonitoring an der HTWK verbesserten. Eine eingebundene Kamera niedriger Auflösung gilt als Ergänzung zur Aufzeichnung der Flügelschlagsignale und somit als weiterer Indikator, ob ein Insekt das Monitoring-System passiert hat.

Die Schüler*innen und Auszubildenden lernten, mit fortschrittlichen Sensoren und Analysewerkzeugen umzugehen, was ihre technischen Fähigkeiten stärkt. Darüber hinaus trägt die Einbindung in das Projekte dazu bei, das Bewusstsein und die Sensibilität für ökologische Themen zu schärfen. Die Teilnehmenden haben Einblicke in die Notwendigkeit des Insektenschutzes gewonnen und gelernt, die Bedeutung der Biodiversität für das ökologische Gleichgewicht zu schätzen. Durch diese und vergangene Maßnahmen konnte das Engagement für Umweltschutzmaßnahmen gestärkt werden.

Die Arbeit mit zukünftig realen Daten zum Insektenrückgang zielt darauf ab, kreative Lösungen für technische und methodische Probleme zu entwickeln.

Diese Erkenntnisse bilden eine sehr gute Grundlage für die Weiterentwicklung unserer Arbeit im Anschlussprojekt „Renewable Skills“.

DISKUSSION

Inwieweit wurden die verfolgten Ziele erreicht?

Die im Projekt gesetzten Ziele wurden insgesamt überwiegend erreicht. Insbesondere die Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion durch den Einsatz verschiedener Technologien in Kombination mit einer gleichzeitigen Steigerung des Energieertrags konnte erfolgreich umgesetzt werden.

Auch die Vernetzung wissenschaftlicher Einrichtungen sowie der persönliche Austausch zwischen den Beteiligten funktionierten sehr gut und führten zu einem intensiven Wissenstransfer. Die interdisziplinäre Untersuchung technischer, physikalischer, biologischer, gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und politischer Aspekte sowie die Umsetzung der daraus gewonnenen Erkenntnisse verliefen erfolgreich.

Ein weiterer Erfolg war das Aufzeigen von Studienperspektiven für Schüler*innen, was zur Nachwuchsförderung im wissenschaftlich-technischen Bereich beiträgt.

Die Entwicklung eines Low-Cost-Messsystems zur Analyse von Pflanzen konnte realisiert werden. Allerdings war ursprünglich die Entwicklung mehrerer unterschiedlicher Messsysteme vorgesehen. Dieses Ziel wurde nur teilweise erreicht. Zudem wurde das Ziel der didaktischen Aufbereitung der Ergebnisse zum einfachen Nachbau sowie der Weiterführung an verschiedenen Lernorten nicht erreicht. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf, insbesondere im Hinblick auf die bildungsorientierte Verwertung der technischen Ergebnisse.

Dagegen konnten sowohl die Forschung zur Entwicklung verschiedener Nutzpflanzen unter Photovoltaik-Modulen als auch die Untersuchung der Synergien zwischen Pflanzenbau und Energieerzeugung erfolgreich umgesetzt werden.

Insgesamt zeigt sich, dass das Projekt in seiner Zielsetzung erfolgreich war, wenngleich einzelne Aspekte, insbesondere im didaktischen und multiplizierbaren Bereich der Messtechnik, noch Verbesserungspotenzial aufweisen.

Woraus ergeben sich die Abweichungen der erhaltenen Ergebnisse (aufgetretene Probleme, Veränderungen bezüglich Strategie oder angewandter Methoden)?

Im Projektverlauf zeigte sich, dass die geplante Umsetzung der Messsysteme an mehreren externen Standorten (z. B. Berufsbildungswerk Leipzig, Aufforstungsfläche Hufeisensee, Klimagarten Halle) nicht wie ursprünglich vorgesehen realisiert werden konnte. Ausschlaggebend dafür waren mehrere, teils miteinander verknüpfte Faktoren.

Ein zentrales Hindernis stellte die Terminfindung mit den kooperierenden Schulen und Bildungseinrichtungen dar. Aufgrund schulinterner Zeitpläne, Belastungen durch Prüfungsphasen und kurzfristiger organisatorischer Änderungen war eine verlässliche Planung der Workshops und Installationen kaum möglich. Die notwendigen Abstimmungen zogen sich entsprechend über einen längeren Zeitraum hin.

Zudem kam es projektintern zu mehreren personellen Wechseln, wodurch Einarbeitungszeit und Wissenstransfer erforderlich wurden. Dies führte zu Verzögerungen bei der didaktischen und technischen Vorbereitung der Messsysteme sowie bei der Koordination mit den externen Partnern.

Zudem waren die Kapazitäten zur technischen und didaktischen Aufbereitung der Messsysteme begrenzt. Insbesondere durch den parallelen Aufbau mehrerer Systeme kam es zu priorisierten Umsetzungen, wobei der Botanische Garten als Pilotstandort vorrangig behandelt wurde. Im weiteren Projektverlauf wurde daher eine strategische Fokussierung auf diesen Standort beschlossen, um zunächst ein funktionierendes Gesamtsystem zu realisieren und auf dieser Grundlage fundierte Erfahrungen für eine spätere Übertragung auf weitere Standorte zu gewinnen.

Wie gestaltete sich die Arbeit mit den unterschiedlichen Kooperationspartnern (Institute, Firmen, Kommunen, Länder)?

Die Zusammenarbeit mit den verschiedenen Kooperationspartnern gestaltete sich insgesamt vielfältig und in Teilen sehr produktiv, wenn auch unterschiedlich intensiv, wobei sich insbesondere dem Wilhelm-Ostwald-Gymnasium (WOG) als zentraler Partner im Projektverlauf herauskristallisierte. Mit dem WOG bestand ein enger Austausch, unter anderem im Rahmen von mehreren Praktika, der Betreuung von BELL-Arbeiten, einem Angebot der Ganztagschule sowie durch die aktive Teilnahme mit einem Projektstand an Veranstaltungen wie dem Hoffest. Diese kontinuierliche Zusammenarbeit förderte die Sichtbarkeit des Projekts im schulischen Raum.

Auch mit dem Kant-Gymnasium Leipzig konnte ein direkter Austausch erfolgen, wodurch gemeinsame Workshops durchgeführt werden konnten.

Besonders hervorzuheben ist die sehr gute und verlässliche Zusammenarbeit mit dem Botanischen Garten Leipzig. Dort wurde erfolgreich ein Messsystem implementiert, und durch die enge Abstimmung mit den Mitarbeitenden vor Ort konnten technische sowie organisatorische Herausforderungen effizient gemeistert werden. Die partnerschaftliche Kooperation ermöglichte es, Exkursionen durchzuführen und das Messsystem dauerhaft zu betreiben und im Rahmen von Bildungsangeboten interaktiv zu nutzen.

Darüber hinaus trug die Kooperation mit dem Berufsbildungswerk Leipzig wesentlich zum Projekterfolg bei. Die Auszubildenden konnten sich aktiv einbringen, beispielsweise durch die Erstellung eines Bepflanzungsplans und die Mitarbeit an praktischen Aufgaben. Diese Verbindung von beruflicher Ausbildung und Nachhaltigkeitsthemen förderte das praxisnahe Lernen und stärkte die berufsbezogenen Kompetenzen der Teilnehmenden.

Mit einigen Partnern, die zu Projektbeginn eine Kooperationserklärung abgegeben hatten, wie dem Landestechnischen Zentrum Borna oder dem Saline Technikum Halle, konnten trotz anfänglichem Interesse leider keine praktischen Aktivitäten umgesetzt werden. Gründe hierfür lagen überwiegend in zeitlichen und organisatorischen Einschränkungen sowie in der Schwierigkeit, gemeinsame Termine, auch im Abstimmung mit den Schulen, zu finden oder Inhalte kurzfristig in den jeweiligen Bildungskontext zu integrieren.

Insgesamt zeigte sich, dass belastbare Kooperationen vor allem dann gut funktionierten, wenn ein enger persönlicher Austausch möglich war und die Partner eigene Kapazitäten zur aktiven Beteiligung mitbrachten. Die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Institutionen (z. B. Schulform, organisatorische Flexibilität, personelle Ressourcen) hatten dabei maßgeblichen Einfluss auf die Umsetzbarkeit geplanter Maßnahmen.

ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Wie werden die Ergebnisse veröffentlicht?

Die Veröffentlichung der Projektergebnisse befindet sich derzeit in Planung. Eine entsprechende Anfrage zur Veröffentlichung wurde bereits gestellt. Ziel ist es, die Ergebnisse sowie zentrale Erkenntnisse aus dem Projekt öffentlich zugänglich zu machen und einem breiteren Fach- und Bildungspublikum zur Verfügung zu stellen.

Wer partizipiert an den Ergebnissen?

An den Ergebnissen des Projekts partizipieren unterschiedliche Akteursgruppen auf verschiedenen Ebenen. Die Schüler*innen und Auszubildenden, die aktiv in die Durchführung der Versuche, in technische Entwicklungen sowie in Messungen eingebunden waren, profitieren unmittelbar durch den Erwerb fachlicher und praktischer Kompetenzen im Bereich Pflanzenbau, Umwelttechnik, Sensorik und Programmierung. Lehrkräfte und Bildungseinrichtungen können auf die im Projekt entwickelten Materialien, Konzepte und Versuchsaufbauten zurückgreifen und diese zur Gestaltung eigener Unterrichts- und Projektformate nutzen. Die Kooperationspartner insbesondere der Botanische Garten Leipzig, das Berufsbildungswerk Leipzig und die beteiligten Gymnasien integrieren einzelne Elemente des Projekts in ihre Bildungsarbeit und setzen diese in eigenen Formaten fort. Darüber hinaus wird durch die geplante Veröffentlichung zentraler Projektergebnisse auch einer breiteren Fachöffentlichkeit der Zugang zu entwickelten Messsystemen, technischen Lösungsansätzen und pädagogischen Konzepten ermöglicht. Nicht zuletzt fließen Inhalte, Erkenntnisse und technische Entwicklungen des Projekts in das Anschlussvorhaben „Renewable Skills“ ein, wodurch eine langfristige Nutzung und Weiterentwicklung der Ergebnisse sichergestellt sind.

Wird das Vorhaben über die Projektlaufzeit hinaus weitergeführt?

Das Vorhaben wird über die ursprüngliche Projektlaufzeit hinaus im Rahmen des bereits gestarteten Anschlussprojekts „Renewable Skills“ fortgeführt. In diesem Kontext erfolgt eine thematische Erweiterung um den Bereich Maschinenbau sowie die Fertigstellung der im Projekt begonnenen BELL-Arbeiten. Das im Botanischen Garten Leipzig installierte Messsystem bleibt weiterhin in Betrieb und wird dauerhaft für interaktive Bildungsformate genutzt.

FAZIT**Hat sich die Vorgehensweise bewährt (evtl. veränderte Lösungsansätze, Ideen usw.)?**

Im Projekt wurde ein kooperatives und praxisorientiertes Lernkonzept verfolgt, das den Schüler*innen ermöglichte, die Themen Pflanzenbau, Klimawandel und Energiewende aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und zu erarbeiten. Die Zusammenarbeit zwischen Hochschule, Schulen, dem Botanischen Garten und dem Berufsbildungswerk bot den Teilnehmenden die Möglichkeit, durch Gespräche mit Experten unterschiedlicher Fachrichtungen sowie durch die Entwicklung und Durchführung eigener Versuche, praktisch zu forschen und die verschiedenen Teildisziplinen miteinander zu verbinden.

Diese Vorgehensweise regte die Schüler*innen zur aktiven Mitgestaltung an und stärkte ihre Motivation zum eigenständigen und entdeckenden Lernen. Anstatt einem starren Abarbeiten von Aufgaben folgten die Teilnehmenden einem problemlösenden Ansatz, bei dem auch alternative Lösungsansätze entwickelt und erprobt wurden. Das eigenverantwortliche Arbeiten förderte zudem die Stärkung persönlicher Kompetenzen, insbesondere in den Bereichen Selbstorganisation, Verantwortungsbewusstsein und Teamarbeit.

Die unterschiedlichen Ausrichtungen der Kooperationspartner ermöglichten es zudem, dass verschiedene Schülergruppen, unter anderem von zwei Leipziger Gymnasien sowie des Fachbereichs Gartenbau des Berufsbildungswerks Leipzig, voneinander profitierten und gemeinsam zu Projektthemen forschten. Diese praxisnahen Inhalte trugen wesentlich dazu bei, neue Zugänge zu MINT-Themen zu eröffnen und individuelle Stärken sichtbar zu machen.

Darüber hinaus bot das Projekt eine wertvolle Möglichkeit, unterschiedliche Akteure aus Wissenschaft, Bildung und Gesellschaft zu vernetzen. Der kontinuierliche Austausch mit den beteiligten Partnern, Eltern, Lehrenden und Schüler*innen ermöglichte, vielfältige Sichtweisen in das Projekt einfließen zu lassen, die sowohl zum aktuellen Projekterfolg beitrugen als auch in Folgeprojekten weiter genutzt werden sollen.

Werden Änderungen der Zielsetzung notwendig?

Die grundlegende Zielsetzung des Projekts hat sich insgesamt als tragfähig erwiesen. Die meisten übergeordneten Ziele wurden erreicht, was die Relevanz und Realisierbarkeit der ursprünglichen Planung bestätigt. Eine grundlegende Änderung der Projektziele ist daher nicht notwendig.

Allerdings zeigte sich im Projektverlauf, dass einzelne Teilziele, insbesondere im Bereich der didaktischen Aufbereitung und der Entwicklung mehrerer Low-Cost-Messsysteme, nicht wie geplant umgesetzt werden konnten. Es war ursprünglich vorgesehen, dass der Partner Saline Technikum bei

der didaktischen Aufbereitung unterstützt. Aufgrund des nicht durchgeführten Messaufbaus am Saline Technikum, konnte daraufhin auch keine didaktische Aufbereitung durch das Saline Technikum erfolgen. Diese Lücke hatte zur Folge, dass das Ziel der didaktischen Weiterverwertung und Verankerung an Lernorten nicht erreicht wurde. Die Entwicklung beschränkte sich auf ein einzelnes Messsystem, obwohl mehrere vorgesehen waren.

Für eine mögliche Fortführung oder Weiterentwicklung des Projekts wäre daher keine grundlegende Änderung der Zielsetzung erforderlich, wohl aber eine präzisere Planung und Absicherung der Verantwortlichkeiten, insbesondere in Hinblick auf externe Partner. Zudem könnte eine Stärkung der bildungsdidaktischen Komponente sinnvoll sein.

ANLAGEN/ANHANG

Anlage 1: Ertragsdokumentation

	Unter fH [kg]	unter PV [kg]	Gesamt [kg]	fH [%]	PV [%]	Prozentsatz PV [%]
Knoblauch 2021	2,13	1,91	4,04	52,72	47,28	89,67
Zwiebeln 2021	4,42	3,34	7,76	56,96	43,04	75,57
Radieschen 2022	0,16	0,69	0,85	18,82	81,18	431,25
Radieschen 2023	0,1	0,2	0,3	33,33	66,67	200,00
Erbsen 2023	0,08	0,55	0,63	12,70	87,30	687,50
Bohnen 2023	0,99	1,4	2,39	41,42	58,58	141,41
Süßkartoffeln 2024	0,33	0,068	0,398	82,91	17,09	20,61