

# Vertical-Farming-System für die Bilddatengenerierung zur KI-gestützten Identifikation des Wachstumszentrums von Beikräutern

Erkenntnisse aus dem Projekt KIdetect gefördert durch das BMEL

Philipp Flierl<sup>1</sup>, Alexander Zimmermann<sup>2</sup>, Michael Niedermeier<sup>2</sup>, Faryal Noori<sup>2</sup>, Erich Fuchs<sup>2</sup> und Anton Schmailzl<sup>1</sup>

**Abstract:** Ziel des Projekts KIdetect ist der Aufbau eines Vertical-Farming-Systems zur gezielten Anpflanzung von Kulturpflanzen und Beikräutern in einer Laborumgebung. Anhand der Laborumgebung soll verstanden werden, inwiefern eine sichere Identifikation von Beikräutern möglich ist. Neben den Eigenschaften der Pflanzen im menschlich sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums sollen auch Informationen aus dem Kurzwelleninfrarotbereich evaluiert werden. Die Laborumgebung dient neben der Grundlagenforschung von Unterscheidungsmerkmalen schließlich auch der Generierung fotografischer Aufnahmen von Kulturpflanzen und Beikräutern. Es soll eine Bilddatenbank entstehen, anhand welcher die Grundlagen für eine spätere Anwendung der Erkenntnisse auf die Anwendungsumgebung geschaffen werden soll. Der Fokus der Beikräuter liegt auf dem Wachstumszentrum und soll gestützt durch KI zuverlässig identifiziert werden.

**Keywords:** Vertical-Farming-System, SWIR-Technologie, Unkrautererkennung, Bilddatengenerierung, Laborumgebung

## 1 Einleitung

Mit dem „European Green Deal“ forcieren die Mitgliedstaaten der Europäischen Union, den Einsatz von Pflanzenschutzmittel bis 2030 zu halbieren [UB22]. Diese Reduktion der Pflanzenschutzmittel kann nur mit einer deutlichen Verbesserung des aktuellen Stands der Pflanzenschutztechnik realisiert werden. Anstatt einer breitflächigen Ausbringung von Herbiziden muss zukünftig eine selektive Beikrautregulierung erfolgen. Für diese selektive Beikrautregulierung muss vollautonom zwischen Beikraut und Kulturpflanze unterschieden werden können. Für das Trainieren entsprechender Algorithmen werden größere Bilddatensätze benötigt, welche nach aktuellem Stand der Technik in der Anwendungsumgebung gewonnen werden. Hierbei lassen sich allerdings keine Bilddatensätze generieren, welche weder reproduzierbar sind noch kann auf die

---

<sup>1</sup> Technische Hochschule Deggendorf, Dieter-Görlitz-Platz 1, 94469 Deggendorf, {philipp.flierl, anton.schmailzl}@th-deg.de

<sup>2</sup> Universität Passau, FORWISS, Innstraße 43, 94032 Passau, {zimmermann, niedermeie, noori, fuchse}@forwiss.uni-passau.de

Umgebungsbedingungen in der Anwendungsumgebung Einfluss genommen werden. Weiter stößt der aktuelle Stand der Technik zur Erkennung von Beikräutern im Bereich des menschlich sichtbaren elektromagnetischen Spektrums (VIS) von 380 nm bis 780 nm an seine Grenzen, wodurch bestehende Systeme fehleranfällig sind.

Um zukünftig die Fehleranfälligkeit bestehender Systeme zur Erkennung von Beikräutern deutlich zu verbessern, müssen neben dem Pflanzenumriss weitere Unterscheidungsmerkmale herangezogen werden. Als bisher unerforschtes Unterscheidungsmerkmal zählt der „spektrale Fingerabdruck“ von Pflanzen im Bereich des Kurzwelleninfrarot (SWIR) von 700 nm bis 1700 nm. Erst durch den Aufbau eines Vertical-Farmings-Systems und die Einbindung von KI kann dieses Unterscheidungsmerkmal genauer untersucht werden. Denn für eine mögliche Validierung muss eine Laborumgebung geschaffen werden, in welcher eine ausreichend hohe Anzahl an reproduzierbaren Bilddaten generiert werden kann.

## 2 Vertical-Farming-System als Forschungsinfrastruktur

Eine fotografische Aufnahme für eine Bilddatenbank sollte Kulturpflanzen und Beikräuter ähnlich der Realität in der Anwendungsumgebung zeigen, siehe Abbildung 1.

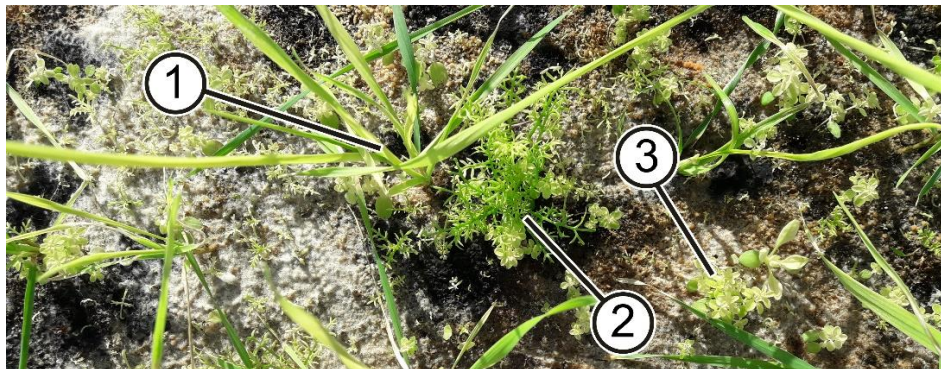


Abb. 1: Angepflanzte Kulturpflanzen und Beikräuter im Vertical-Farming-System: Weizen (1), Kamille (2), Kletten-Labkraut (3)

Die dargestellten Erkenntnisse entstammen aus zahlreichen Vorversuchen und stellen aus wissenschaftlicher Sicht qualitative Aussagen dar. Das vorliegende Paper stellt eine zielgerichtete Erkenntnisdokumentation für die Anpflanzung von Kulturpflanzen und Beikräutern dar. Für aktuelle Versuche aus dem Projekt KIdetect lag der Fokus auf der Kulturpflanze Weizen (1) und den Beikräutern Kamille (2) und Kletten-Labkraut (3). Für den Aufbau der Bilddatenbank werden fotografische Aufnahmen unterschiedlicher Entwicklungsstadien der Pflanzen bei wechselnden Lichtverhältnissen und Perspektiven

benötigt. Aufgrund der Vielzahl der fotografischen Aufnahmen sollte die Generierung der Aufnahmen vollautomatisiert und jahreszeitenunabhängig erfolgen.

Entsprechend den Anforderungen erfolgt der Aufbau des Vertical-Farming Systems als Forschungsinfrastruktur in einem geschlossenen und klimatisierten Überseecontainer. Der aktuelle Stand des Vertical-Farming-Systems ist in Abbildung 2 dargestellt.

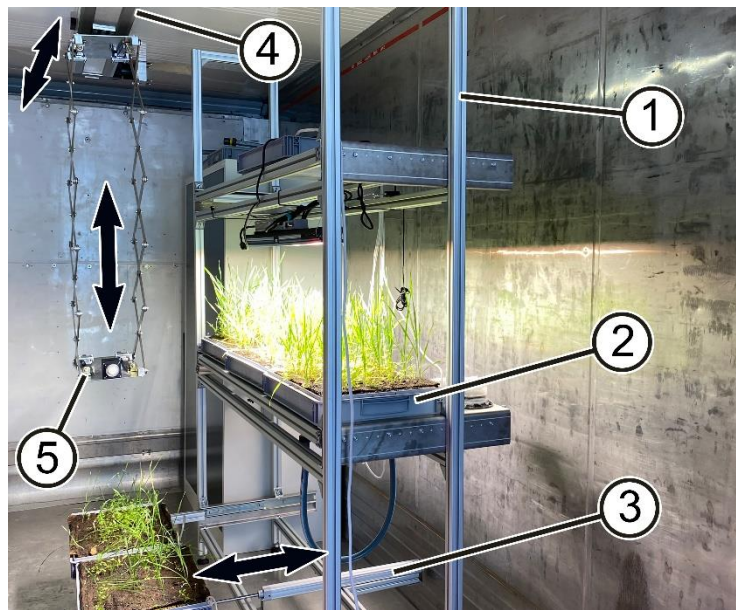


Abb. 2: Aktueller Stand des Vertical-Farming-Systems: Pflanzregal (1), Pflanzkästen (2), Pneumatikzylinder (3), Linearachse (4), Scherenhubtisch (5)

Das Vertical-Farming-System ist 7800 mm lang und besteht aus acht einzelnen Pflanzregalen (1), welche in jeweils drei Pflanzebenen unterteilt sind. Die Kulturpflanzen und Beikräuter wachsen in drei einzelnen Pflanzkästen (2) pro Pflanzebene. Oberhalb einer jeden Pflanzebene befinden sich entsprechende Pflanzlampen mit je 300 Watt der Firma Mars Hydro. Der Abstand der Lampen zum Pflanzbehälter beträgt ca. 450 mm, um alle Pflanzkästen einer Pflanzebene möglichst gleichmäßig auszuleuchten. Die Pflanzebenen sind über Pneumatikzylinder (3) ausziehbar und können dadurch mittig unter eine Linearachse (4) bewegt werden. Durch einen Scherenhubtisch (5), welcher an die Linearachse montiert ist, kann jeder einzelne Pflanzkasten angefahren werden. Der Scherenhubtisch dient als Trägerelement für entsprechende Kameras für die fotografischen Aufnahmen und soll zukünftig auch zur Evaluierung verschiedener Unkrautentfernungsmethoden verwendet werden. Der Fokus des Projekts KIdetect liegt auf der Identifikation des Wachstumszentrums, d. h. für die möglichst genaue Lokalisation des Wachstumszentrums ist eine 3-D-Rekonstruktion erforderlich. Für entsprechende Aufnahmen werden zwei Kameras an dem Scherenhubtisch montiert. Eingesetzt wird zum

einen eine Scientific Kamera mit sCMOS Bildsensor für den Bereich des VIS und eine Kamera mit InGaAs Bildsensor für den Bereich des SWIR. Beide Kameras werden von der Firma Excelitas PCO GmbH bereitgestellt.

Für die Anpflanzung der Kulturpflanzen und Beikräutern wird auf ein hydroponisches System entsprechend Abbildung 3 gesetzt.

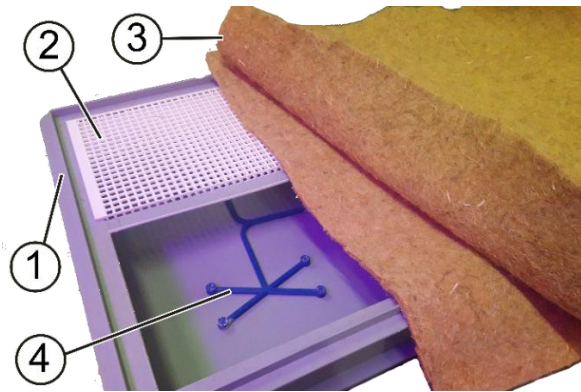


Abb. 3: Hydroponisches System aufgebaut als Pflanzkasten: (1) Euronormbehälter, Trägerplatte (2), Nutzhänfvlies (3), Luftausströmer (4)

Hydroponische Systeme kennzeichnen sich dadurch aus, dass die Pflanzen in eine Wasser-Nährstofflösung wurzeln. Durch die Reduktion an organischem Material bieten sich weniger Nistmöglichkeiten für Insekten. Für das hydroponische System werden Euronormbehälter der Abmessung 60 x 40 x 7,5 cm verwendet und mit einem Volumen von ca. 12 l Trinkwasser gefüllt. Für das verwendete hydroponische System hat sich die Hinzugabe von 10 ml an NPK 3-2-4 pro Pflanzkasten (Euronormbehälter) als zielführend erwiesen, wenn die Kulturpflanze Weizen ein 3- bis 5-Blattstadium erreicht hat. Für die Wasser-Nährstofflösung sollte ein pH-Wert zwischen 6 und 7 eingehalten werden. Die Wasser-Nährstofflösung sollte alle 2 Wochen ausgetauscht werden. Als Auflagefläche für die Samen wird als Substrat Nutzhänfvlies mit einer Materialstärke von ca. 5 mm verwendet. Das Substrat liegt auf vier einzelnen Trägerplatten aus PLA auf, durch welches die Pflanzen hindurchwurzeln können (DE102018132626B4). Durch die jeweils unterhalb einer Trägerplatte befindlichen Luftausströmer (2) wird zum einen die Wasser-Nährstofflösung kontinuierlich mit Sauerstoff angereichert, weiterhin wird durch die Luftausströmer das Substrat insbesondere zur Keimung benässt. Für das Ausströmen der Luft ist ein Mindestvolumenstrom von 35 l/min und 0,3 bar erforderlich. Die Einschaltdauer der Luftdüsen beträgt ebenfalls wie die Einschaltdauer der Lampen acht Stunden pro Tag. Die Luftdüsen sollen möglichst große Luftblasen erzeugen, um das Substrat zu benetzen, aus diesem Grund ist von der Verwendung von Ausströmersteinen aus dem Bereich der Aquaristik abzuraten. In dem gesamten Container befinden sich in Summe 72 Pflanzkästen mit einer Gesamtfläche von ca. 17,3 m<sup>2</sup> Anpflanzfläche.

### 3 KI zur Identifikation des Wachstumszentrums

Neben dem Aufbau des Vertical-Farming-Systems als Forschungsinfrastruktur ist das Ziel des Projekts KIdetect die Identifikation des Wachstumszentrums. Sowohl für die Anwendung der verwendeten Kameras als auch für die Auswertung der fotografischen Aufnahmen ist KI zwingend erforderlich.

Die Anwendung von künstlicher Intelligenz erfolgt zum einen in Bezug auf die Registrierung der fotografischen Aufnahmen der beiden verwendeten Kameras, um eine bestmögliche Übereinstimmung der Aufnahmen zu erreichen. Dies erfolgt nach der Einzelkamera-Kalibrierung über die Ermittlung der intrinsischen und extrinsischen Parameter. Mittels einer 3-D-Rekonstruktion (Triangulation) zweier definierter Punkte auf einem Kalibriertarget werden die Kameras mm-genau verifiziert. Für die anschließende Objektzuordnung von Bilddaten wurde ein Pixelmatching durchgeführt. Hierfür wurde sowohl ein Sift-Flann-Matcher als auch ein Epiline-Matcher erprobt, jedoch besteht für beide Algorithmen eine Möglichkeit zur Qualitätsoptimierung. Daher werden die bisherigen Ergebnisse beider Ansätze weiter verbessert und zur Erstellung von Trainingsdaten und die Evaluation eines zukünftigen CNN-Algorithmus genutzt.

Die Anwendung von künstlicher Intelligenz erfolgt zum anderen zur Klassifizierung der Kulturpflanzen und Beikräuter. Diese Klassifizierung gestaltet sich allerdings aufgrund von sich überlappenden Blättern, komplizierten Hintergründen, verschiedenen Pflanzenblättern mit derselben Form, Lichtschwankungen und der Nässe oder Trockenheit des Bodens als herausfordernd. Bisherige Ansätze, die KI-Methoden benutzen, sind z.B. [YZF20], die ein Mask Region-based Convolutional Neural Network (Mask R-CNN) und ein Convolutional Neural Network mit 15 verschiedenen Pflanzenbildern trainieren, um komplexe Pflanzenhintergründe anhand der Blattform zu klassifizieren. In [FC06] wird die Schwellenwertbildung verwendet, um Blattadern vom Hintergrund zu trennen. Hier wird ein Neuronales Netz zur Verbesserung der Klassifizierung eingesetzt. Im Artikel [Ze21] wird ein Fully Convolutional Network mit Bildern von Winterweizen im Hinblick auf ihr Wachstumsstadium, Lichtveränderungen und verschiedene Bodenverhältnisse trainiert. In [Ad20] übertrifft die Schwellenwertbildung andere klassische Methoden der Bildsegmentierung. In der Studie [JCC21] zur Erkennung von Gemüse wurde das CenterNet-Modell so trainiert, dass es Begrenzungsboxen um die Pflanzen zeichnete und die Pflanzen, die außerhalb lagen, als Hintergrund gezählt wurden. Diese Ansätze werden bezüglich ihrer Eignung für das Projekt evaluiert, angepasst und erweitert.

Im Gegensatz zu den vorherigen Ansätzen werden in dem Projekt KIdetect Informationen von zwei Kameras in unterschiedlichen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums untersucht. Anhand der gewonnenen Informationen werden Objekte mit Labels annotiert, welche im Folgenden zum Training eines geeigneten ausgewählten CNN genutzt werden. Ziel ist es, Methoden zu bestimmen, mit denen Beikräuter in möglichst vielen Situationen und Konstellationen robust von Kulturpflanzen unterschieden werden können. Dafür erforderlich ist eine iterative Vorgehensweise bestehend aus Lernphasen, Tests und Adaptionen der Modelle.

## 4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch das vorgestellte Vertical-Farming-System als Forschungsinfrastruktur auf ca. 17 m<sup>2</sup> gezielt Kulturpflanzen und Beikräuter angepflanzt werden können. Die Anpflanzung erfolgt in 72 einzelnen Pflanzkästen über ein hydroponisches System. Es wurde sich auf die Anpflanzung von Weizen, Kamille und Kletten-Labkraut konzentriert. Für die zielgenaue Identifikation des Wachstumszentrums wird auf eine 3-D-Rekonstruktion (Triangulation) gesetzt, wofür zwei Kameras benötigt werden. Die Anwendung von KI erfolgt zum einen für die Bildregistrierung der fotografischen Aufnahmen der beiden Kameras, zum anderen für die Klassifizierung der Kulturpflanzen und Beikräuter. Verschiedene aktuelle Methoden zur Klassifizierung wurden vorgestellt. Es soll eine Bilddatenbank aus fotografischen Aufnahmen generiert werden, welche sowohl zweidimensionale als auch dreidimensionale Informationen im Bereich VIS und SWIR enthält. Anhand dieser Grundlage soll die zuverlässige Identifikation von Beikräutern in der Laborumgebung sichergestellt werden. Erst bei sicherer Identifikation kann eine Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf die Anwendungsumgebung erfolgen.

## Förderhinweis und Danksagung

Die Erkenntnisse wurden im Projekt KIdetect (Förderkennzeichen: 28DK132) durch das BMEL erarbeitet. Die verwendete Kameratechnologie wurde von der Excelitas PCO GmbH (Projektverbundpartner) zur Verfügung gestellt. Die Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG (Assoziierter Projektpartner) steht beratend zur Seite.

## Literaturverzeichnis

- [Ad20] Adams, J. et.al.: Plant Segmentation by Supervised Machine Learning Methods. The Plant Phenome Journal 03/20, 2020.
- [FC06] Fu, H.; Chi, Z.: Combined Thresholding and Neural Network Approach for Vein Pattern Extraction from Leaf Images. IEE Proc. 153/06, S. 881-892, 2006.
- [JCC21] Jin, X.; Che, J.; Chen, Y.: Plant Segmentation by Supervised Machine Learning Methods. IEEE 09/21, S. 10940-10950, 2021.
- [UB22] Umweltbundesamt, Pressemitteilungen, [www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/neue-eu-verordnung-weniger-pestizide-geht-nur](http://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/neue-eu-verordnung-weniger-pestizide-geht-nur), Stand: 28.05.2023.
- [YZF20] Yang, K.; Zhong, W.; Li, F.: Leaf Segmentation and Classification with a Complicated Background Using Deep Learning. Agronomy 10/20, 2020.
- [Ze21] Zenkl, R. et.al.: Outdoor Plant Segmentation With Deep Learning for High-Throughput Field Phenotyping on a Diverse Wheat Dataset. Front. Plant Sci. 12/21, 2021.