

Mit Drohnen und KI Beikraut erkennen

Ergebnisse aus dem Projekt „Evaluierung und Weiterentwicklung moderner Verfahren der künstlichen Intelligenz zur automatischen Erkennung von Unkraut in Sorghum mit Hilfe von Drohnen“ (EWIS)

von MICHAEL GRIEB, NIKITA GENZE und PROF. DR. DOMINIK GRIMM: **Sorghum wird in Bayern als Energiepflanze vor allem für die Biogasproduktion angebaut. Die hohe Biomasseleistung und die große Sortenvarietät in Verbindung mit seiner Trockenheitstoleranz und Nährstoffeffizienz machen Sorghum zu einer vielversprechenden Rohstoffpflanze. Neuartige Technologien, verknüpft mit intelligenter Software, eröffnen große Potenziale im Bereich der Effizienzsteigerung in der Landwirtschaft. Mit Hilfe von modernsten Verfahren des maschinellen Lernens, wie künstliche neuronale Netze oder Deep Learning, können drohnenbasierte Bildaufnahmen der Anbauflächen analysiert und Beikraut erkannt werden.**

Beikräuter sind unerwünschte Pflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen, die den Ertrag und die Qualität der Ernte verringern, weil sie um Nährstoffe, Wasser, Sonnenlicht und Platz konkurrieren (siehe Bild 1). Seit Jahrhunderten setzen die Landwirte eine Vielzahl von Strategien und Mitteln zur Beikrautbekämpfung ein.

Heute ist der Einsatz von Herbiziden nach wie vor die gängigste Bekämpfungsstrategie. Dabei sind die Schäden für die menschliche Gesundheit und die Umwelt hinlänglich bekannt und dokumentiert. Ein standortspezifisches Beikrautmanagement durch Herbizideinsatz mit variabler Dosierung und mechanischer Beikrautbekämpfung wird seit langem empfohlen. Damit verringern sich die Menge der eingesetzten Herbizide und mögliche negative Auswirkungen. Um solche präzisen Strategien umzusetzen, ist die genaue Erkennung und Klassifizierung von Beikräutern auf Feldern ein wichtiger erster Schritt. Unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) sind nützliche Werkzeuge, um hochauflösende Felddaten für die Bildsegmentierung mit Deep-Learning-Methoden zu erfassen. Im Gegensatz zu anderen Bildaufnahmesystemen wie Satelliten und Flugzeugen sind UAVs kostengünstig. Außerdem können UAVs zeitnah hochwertige Bilder über einen großen Feldbereich sammeln und in geringerer Höhe fliegen, um anders als Satellitenaufnahmen unabhängig vom Bewölkungsgrad Aufnahmen zu generieren (siehe Bild 2).



Bild 1: Junge Sorghumpflanzen in BBCH 14, bereits mit erkennbarer *Chenopodium album*-Unkraut in einer Versuchsfläche des TFZ (Foto: TFZ)

Datenerhebung und Annotation

Im Projekt EWIS wurde die Eignung von UAVs für die Erzeugung von Felddaten für die Beikrautfrüherkennung in

Infobox 1: Umfangreiche Datenerhebung

Im Laufe des Projektes wurden durch den Einsatz von Drohnen, aber auch durch den Einsatz der Moving-Fields-Anlage der LfL über 121 000 Bilder aufgenommen und in diesen circa 336 000 Pflanzen annotiert. Der gesamte Datensatz hat eine Größe von circa 1 000 GigaByte.



▭ Bild 2: Befliegung von Sorghumversuchen mit einer Drohne (Foto: Tobias Hase, StMELF)

Pflanzen in den Drohnenaufnahmen pixelgenau gekennzeichnet, wie in *Abbildung 1* rechts verdeutlicht wird. Die Qualität und Quantität der annotierten Daten wirken sich direkt auf die Performance des Modells aus. Daher wurde ein semi-automatischer Prozess zur Erleichterung bei der Annotation und außerdem ein generatives Modell zur Erzeugung neuer, künstlicher Trainingsdaten entwickelt. Diese künstlich erzeugten Trainingsdaten müssen nicht mehr annotiert werden, da die Segmentierung und Informationen über Klassen bereits vorhanden sind.

Sorghum untersucht. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Aufnahmebedingungen und UAV-Einstellungen evaluiert, um eine möglichst hohe Bildqualität der Drohnenaufnahmen zu gewährleisten. Üblicherweise werden Machine-Learning-Modelle mit Hilfe von qualitativ hochwertigen Bilddatensätzen trainiert und getestet.

Um diesen hochauflösenden Trainingsdatensatz von Sorghum und Beikräutern zu erzeugen, wurde eine vielfältige und fundierte Datenbasis durch Drohnenflüge erhoben. Diese können durch Umwelteinflüsse wie Bewegungsunschärfe durch Wind oder Schlagschatten durch direkte Sonneneinstrahlung, Flug- sowie Kameraeinstellungen verschieden starke Qualitätseinbußen erleiden. Außerdem waren einige Leitunkräuter nicht auf den Versuchsflächen zu finden. Deshalb wurde ein weiterer Datensatz im zweiten Projektjahr in der Moving-Fields-Anlage der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) erstellt. Dieses System ermöglichte eine automatisierte, tägliche Datenerfassung und die Erstellung von Wachstumszeitreihen von Sorghum und Beikraut.

Der Annotationsprozess ist sehr zeitaufwendig, da es sich um eine sehr gründliche manuelle Tätigkeit handelt. Hierfür wurden die einzelnen

mehrere hochmoderne, auf Deep Learning basierende Verfahren zur Segmentierung von Beikraut und Sorghum auf Drohnenaufnahmen im Feld zu trainieren und zu evaluieren. Hierbei wurde die Generalisierungsfähigkeit der trainierten Modelle in Bezug auf verschiedene Faktoren wie Bewegungsunschärfe, Farbtemperatur, direkte Sonneneinstrahlung (die

KI-Modell

Dieser Datensatz wurde verwendet, um mehrere hochmoderne, auf Deep Learning basierende Verfahren zur Segmentierung von Beikraut und Sorghum auf Drohnenaufnahmen im Feld zu trainieren und zu evaluieren. Hierbei wurde die Generalisierungsfähigkeit der trainierten Modelle in Bezug auf verschiedene Faktoren wie Bewegungsunschärfe, Farbtemperatur, direkte Sonneneinstrahlung (die

Tabelle: Bewertung Umweltparameter

Umweltparameter	Einfluss auf Bildqualität
Wind/Bewegungsunschärfe	-
Direkte Sonneneinstrahlung	-
Reduzierter Schlagschatten durch Mittagsbefliegung	+
Unterschiedliche Wachstumsstadien von Sorghum	o
Niedrige Fluggeschwindigkeit	+
Hohe Bodenauflösung	+
Große Flughöhe für mehr Flächenleistung	-
Hochauflösender Kamerasensor	+

+ = positiv, o = neutral, - = negativ

Infobox 2: KI-Entwicklung

Für die automatische Beikrautererkennung in Sorghum wurde ein KI-Modell entwickelt, das Sorghum, Beikraut und Acker in Drohnenaufnahmen erkennt und klassifiziert (*siehe Abbildung 1*).

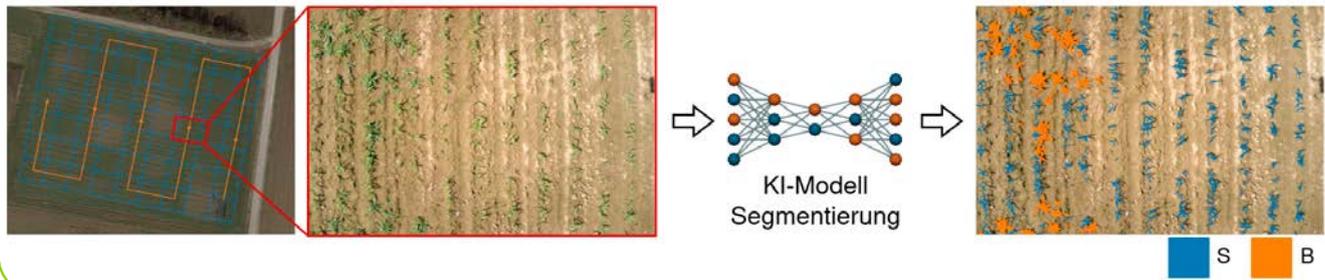


Abbildung 1: Überblick über die Entwicklung eines KI-Modells zur Beikrautererkennung in Sorghum. Blau=Sorghum (S), orange=Beikraut (B)

zu Schlagschatten führt), verschiedene Wachstumsstadien von Sorghum und die Variabilität der Beikrautspezies untersucht (siehe Tabelle).

Künstliche Reduktion von Bewegungsunschärfe

Bewegungsunschärfe wurde als einer der Hauptfaktoren für Qualitätsverluste bei Drohnenaufnahmen identifiziert. Daher wurde ein neuartiges zweistufiges Deep Learning-Verfahren entwickelt, um die Bewegungsunschärfe vor der Segmentierung künstlich zu entfernen.

Erkennungsgenauigkeit

Die quantitative Analyse in *Abbildung 2* zeigt, dass das entwickelte Modell Sorghum und Beikraut in den meisten Fällen richtig erkennt. Die Fehlerquellen liegen darin, dass entweder Sorghum (11,3 Prozent) oder Beikraut (23,2 Prozent) als Acker vorhergesagt werden. Fehlklassifikationen zwischen Sorghum und Beikraut sind selten – nur in 2,6 Prozent der Fälle wird Sorghum fälschlicherweise als Beikraut vorherge-

sagt. Etwas häufiger (4,1 Prozent) wurden Beikrautpixel als Sorghum erkannt.

Es werden folglich die meisten Pflanzen richtig segmentiert, wenn man die allgemeine Form der Pflanze betrachtet (siehe *Abbildung 3*). Das Modell ist in der Lage, verschiedene Beikrautspezies als Beikraut vorherzusagen und liefert auch in schwierigen Situationen, wie z. B. bei teilweisen Überlappungen der Pflanzen, akzeptable Ergebnisse (siehe *Abbildung 3 b, c*). Inkonsistenzen in der Vorhersage wurden hauptsächlich an den Rändern der Pflanzen beobachtet. Dies ist am besten in der Zeile „Unterschied“ zu erkennen, in der nur die Unterschiede zwischen Grundwahrheit und Vorhersage dargestellt sind. Rosa und violett eingefärbte Pixel stellen Fehler in der Vorhersage dar, bei denen Pflanzenpixel als Acker erkannt wurden. Aus pflanzenbaulicher Sicht sind diese Fehler vernachlässigbar, da die allgemeine Form der Pflanzen trotzdem erkannt wird. Schwerwiegender sind Fehler, bei denen Sorghum als Beikraut klassifiziert wird. Dies kommt nur selten vor, vor allem dann, wenn sich Sorghum und Beikraut teilweise überlappen (siehe *Abbildung 3, rot*). In seltenen Fällen wird Beikraut als Sorghum vorhergesagt, was hauptsächlich bei monokotylen Pflanzen und Altverunkrautung vorkommen kann. Diese Ergebnisse sind Teil der Publikation „Deep learning-based early weed segmentation using motion blurred UAV images of sorghum fields“ [1], die in der internationalen Fachzeitschrift *Computers and Electronics in Agriculture* erschienen ist.

Adaption auf Mais

Schließlich wurde ein Anpassungstest für Mais durchgeführt, um die Anwendbarkeit der entwickelten Modelle auf eine andere Kulturart zu überprüfen. Das Modell, das ausschließlich mit Bildern von Sorghumfeldern trainiert wurde, war in der Lage, Mais in einem kleinen Wachstumsstadium (BBCH 13) von Beikräutern zu unterscheiden. Jedoch konnten höhere Fehlerraten in höheren Wachstumsstadien (BBCH 16) beobachtet werden, was darauf hindeutet, dass es noch Raum für Verbesserungen gibt und weitere Forschung erforderlich ist.

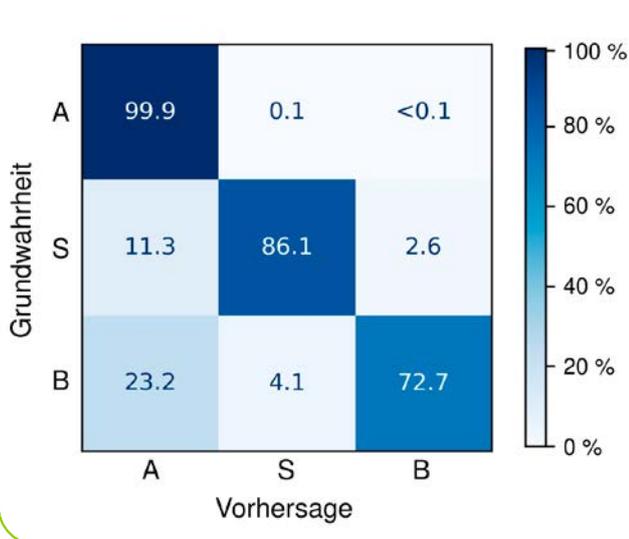


Abbildung 2: Konfusionsmatrix zur Vorhersagegenauigkeit (A=Acker, S=Sorghum, B=Beikraut)

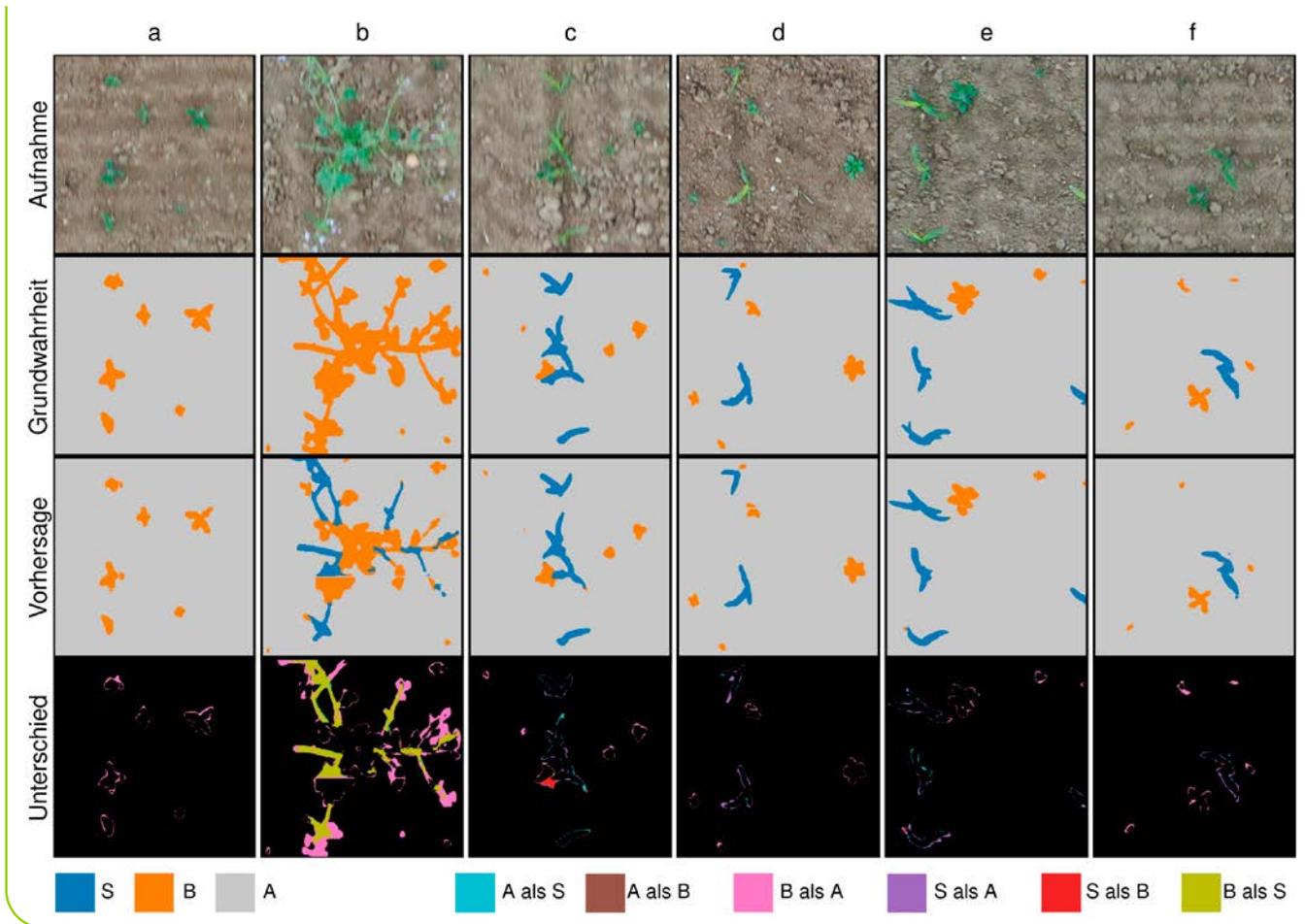


Abbildung 3: Ergebnisse am Test-Datensatz der Größe 400x400 Pixel, Farbtabelle zur Maske und Vorhersage: grau=Acker (A), blau=Sorghum (S), orange=Beikraut (B)

Ausblick

Aufgrund der in EWIS erarbeiteten Ergebnisse haben sich eine Reihe von Fragestellungen und Herausforderungen ergeben, die im aktuellen Folgeprojekt EWIS2 bearbeitet werden:

- ☐ Optimierung der Datenerhebung mit Drohnen für die effiziente Erzeugung von hochaufgelösten Bestandsbildern, Befliegungen und Annotation
- ☐ Entwicklung und Validierung einer KI zur automatisierten Generierung von Karten zur teilflächenspezifischen Beikrautregulierung
- ☐ Integration der Feldkarte in Feldrobotik
- ☐ Ökonomisch-ökologische Bewertung des Verfahrens

Literatur

[1] GENZE N., AJEKWE R., GÜRELI Z., HASELBECK F., GRIEB M., GRIMM D. (2022): Deep learning-based early weed segmentation using UAV images of Sorghum fields. Computers and Electronics in Agriculture, 202.

MICHAEL GRIEB

TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE
 michael.grieb@tfz.bayern.de



NIKITA GENZE

PROF. DR. DOMINIK GRIMM
 HOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN-TRIESDORF (STANDORT STRAUBING)
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN



CAMPUS STRAUBING FÜR BIOTECHNOLOGIE UND NACHHALTIGKEIT
 nikita.genze@hswt.de
 dominik.grimm@hswt.de

