

## Von der Forschung in die Praxis: das KI-basierte optisch-selektive mechanische Beikrautregulierungssystem MWLP-Weeder in verschiedenen Trägersystemen im Feldeinsatz

Wolfram Strothmann<sup>1</sup>, Christian Scholz<sup>2</sup>, Burawich Pamornnak<sup>2</sup> und Arno Ruckelshausen<sup>2</sup>

**Abstract:** Mechanische Beikrautregulierung gewinnt in der landwirtschaftlichen Praxis eine zunehmende Bedeutung. Während sich hierbei für den Zwischenreihenbereich („inter-row“) kommerzielle Lösungen, insb. mit kamerabasierter Reihenerkennung, mittlerweile durchgesetzt haben, und auch für den Bereich zwischen den Pflanzen in der Reihe („intra-row“) erste Systeme kommerziell verfügbar sind, ist mechanisches Hacken im Bereich nahe der Pflanze („close-to-crop“) nach wie vor eine Herausforderung. Gerade für Pflanzen in BBCH-Stadien 10 bis 12 sind hier noch keine optisch angesteuerten Systeme kommerziell verfügbar. Durch den MWLP-Weeder kann diese Lücke geschlossen werden. Der MWLP-Weeder zeichnet sich durch eine Multi-Stempelaktuatorik in Kombination mit optischer Sensorik und intelligenter Pflanzenerkennung aus, welche eine flächige Bearbeitung von Beikräutern speziell auch sehr nahe an den Nutzpflanzen ermöglicht. Aufbauend auf Forschungsergebnissen wurde das System in 2020 aufgebaut und im Experimentierfeld AgroNordWest sowie im praktischen Ökolandbau – sowohl im Roboterbetrieb als auch als Anbaugerät für einen Traktor – getestet.

**Keywords:** Mechanische Beikrautregulierung, Pflanzenerkennung und -klassifizierung

### 1 Einleitung

Mechanische Beikrautregulierung hat in der landwirtschaftlichen Praxis eine stetig zunehmende Bedeutung. In Kombination mit weiteren Ansätzen des integrierten Pflanzenschutzes im Rahmen des betrieblichen Pflanzenbaumanagements erlaubt mechanische Beikrautregulierung eine Reduktion des Pflanzenschutzmittelaufwandes im konventionellen Anbau. Im ökologischen Landbau wird der Anbau von Kulturen mit langsamer Jugendentwicklung durch mechanische Beikrautregulierung erst ermöglicht.

Für die mechanische Beikrautregulierung verfügbare Verfahren sind anhand ihres Zielbereiches klassifizierbar:

---

<sup>1</sup> W. Strothmann Techn. Entwicklung und Dienstleistung, Ernst-Sievers-Str. 28, 49078 Osnabrück, w.strothmann@gmx.net

<sup>2</sup> HS Osnabrück, Fakultät IuI, Sedanstr. 26, 49076 Osnabrück, c.scholz@hs-osnabrueck.de, b.pamornnak@hs-osnabrueck.de, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

- Vollfeldbearbeitung („whole-field“), bzw. flächiges Striegeln;
- Zwischenreihenbereich („inter-row“);
- zwischen den Pflanzen in der Reihe („intra-row“) und
- nahe der Nutzpflanze („close-to-crop“) [Ma20].

Für die Vollfeldbearbeitung und den Zwischenreihenbereich sind mittlerweile eine Vielzahl von Techniken verfügbar. Hierbei wird insbesondere durch kamerabasierte Reihenführung der Abstand zu den Nutzpflanzenreihen zunehmend verkleinert. Weiterhin kann durch Kombination mit Wurf-/Häufelwerkzeugen auch eine Fernwirkung auf den Bereich der Pflanzenreihe erzielt werden, wenn die Nutzpflanzen ausreichend groß gewachsen sind, um diesen Maßnahmen standzuhalten [Ma20].

Weiterhin existieren auch erste Techniken für den „intra-row“-Bereich, welche kameragesteuert innerhalb der Reihen zwischen den Nutzpflanzen hacken können. Zu nennen sind hier beispielsweise der Garford RoboCrop, der Robovator der Fa. F. Poulsen Engineering sowie der IC Weeder der Fa. Steketee. Bedingt durch ihren mechanischen Aufbau erreichen jedoch auch diese den Bereich „close-to-crop“ kaum und sind für Nutzpflanzen im Keimblatt- oder ersten Laubblattstadium nur bedingt geeignet [Ma20].

## 2 Aufbau des MWLP-Weeders

Der MWLP-Weeder baut auf verschiedene Forschungsergebnisse der Hochschule Osnabrück auf. Innerhalb des Projektes RemoteFarming.1 wurde an Techniken zur mechanischen Beikrautregulierung in Möhren geforscht. Hierbei wurde unter anderem die Wirksamkeit stempelartiger Aktoren für die mechanische Beikrautregulierung nachgewiesen [La14]. Der MWLP-Weeder nutzt den dort entwickelten Multi-Wavelength Laser Line Profile Sensor für die Erkennung der Pflanzen. Dieser Sensor erweitert das bekannte Lichtschnittverfahren für hochpräzise 3D-Datenerfassung, indem nicht nur ein Linienlaser, sondern mehrere Linienlaser bei verschiedenen Wellenlängen eingesetzt werden. Auf diese Weise extrahiert der Sensor sowohl 3D-Daten als auch spektrale Signaturen der Pflanzen [St17].

Die Klassifizierung zwischen Nutzpflanzen, Beikräutern (und Boden) findet mit Hilfe neuronaler Netze statt, wobei das System mit Hilfe von In-Field-Labeling vor Ort innerhalb eines Feldes an die Besonderheiten der Wuchssituation des jeweiligen Feldes schnell und einfach angepasst werden kann. Weitere Details zu Sensorik und Klassifizierung der MWLP-Daten für die Unterscheidung zwischen Nutzpflanzen und Beikräutern sind [St17] zu entnehmen.

Ergebnis der Klassifizierung der Pflanzendaten, welche mittels MWLP-Systems aufgenommen wurden, ist zunächst eine pixelbasierte Unterscheidung zwischen Nutzpflanzen, Beikräutern und Boden. Dieses Zwischenergebnis wird in ein Raster

überführt, welches einer Karte mit Mikrozellen entspricht, die kodiert, ob eine bestimmte Zelle auf dem Feld zu bearbeiten ist oder nicht. Ersteres ist mindestens dann der Fall, wenn sich an der entsprechenden Stelle des Feldes ein Beikraut befindet und mindestens dann nicht, wenn sich an der Stelle des Feldes eine Nutzpflanze befindet. Die Zellengröße ist hierbei konfigurierbar. Typischerweise liegt diese Größe bei ca. 1 cm x 1 cm.

Um eine Bearbeitung des Feldes in einer vergleichbar hohen Auflösung zu ermöglichen, ist eine entsprechend geringe Werkzeuggröße erforderlich. Dieses wird durch eine Kombination des MWLP-Systems mit einer Linearanordnung von pneumatisch angetriebenen Stempeln ermöglicht. Diese werden nach Erkennung und Analyse der Szenerie in Synchronisation mit der Fahrbewegung des Trägerfahrzeuges ausgelöst, wenn die Stelle, die der Sensor vorher gescannt hat, erreicht wird. Abbildung 1 zeigt den Aufbau mit Kombination von MWLP-Sensor und Stempelaktuatorik in Schema und Realisierung.

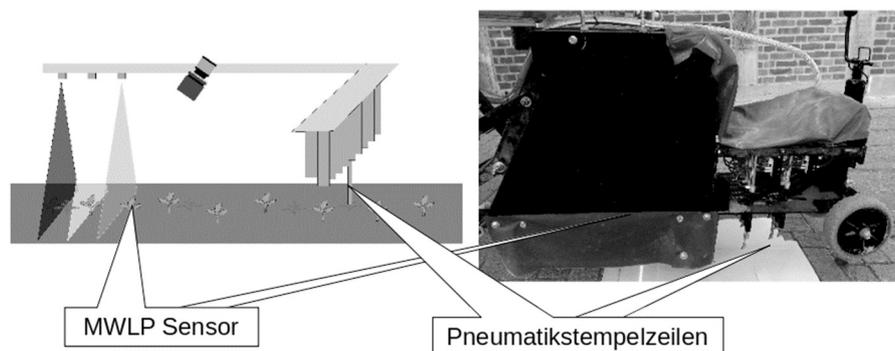


Abb. 1: MWLP-Weeder schematisch und Realisierung

Die Pneumatikstempel sind in Reihe nebeneinander angeordnet. Es besteht auch die Möglichkeit, diese in mehreren Reihen anzuordnen, wobei die hintere Reihe gegenüber der vorderen seitlich versetzt ist. Dies dient der Erhöhung der theoretischen Bearbeitungsauflösung. Es wurden Aufbauten mit 11, 15 und 19 Stempeln pro Reihe realisiert, wobei die laterale Bearbeitungsauflösung je nach Aufbau zwischen 0,9 cm und 1,8 cm lag. Die Bearbeitungsauflösung in Fahrtrichtung ist von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Die Dauer eines einzelnen Stempelhubes liegt bei ca. 32 msec. Bei 1 m/s Fahrgeschwindigkeit liegt die Bearbeitungsauflösung in Fahrtrichtung somit bei 3,13 cm, 0,2 m/s Fahrgeschwindigkeit entspricht 0,63 cm Auflösung. Typische Arbeitsgeschwindigkeiten mit dem MWLP-Weeder liegen zwischen 0,5 km/h (0,14 m/s) und 4 km/h (1,1 m/s), je nach gewünschter Bearbeitungsgenauigkeit.

Die Pneumatikstempel werden über 5/2-Wegeventile angesteuert, die über einen Mikrocontroller geschaltet werden, entsprechend der Ergebnisse des vernetzten Rechners, welche die Klassifizierung rechnet. Die Pneumatikstempel sind für den dauerhaften Feldeinsatz mit einer Verstärkung der Kolbenstange versehen. Weiterhin sind die Einheiten aus Pneumatikstempel, Kolbenstangenführung und Werkzeug einzeln mit einer

Steinsicherung ausgestattet, um bei Hindernissen im Boden entsprechend ausweichen zu können.

An die Stempelspitzen wurden als Werkzeugspitzen Mikrohackschare montiert. Diese erlauben verschiedene Bearbeitungsstrategien mit dem MWLP-Weeder:

1. Stechender Stempelimpuls von oben auf das Zentrum der Beikrautpflanze.
2. Durchfahren der Beikrautpflanze; Hackschar wird vor der Beikrautpflanze abgelassen und nach Durchfahren wieder ausgehoben.
3. Flächige Bearbeitung des Feldes unter Auslassen der Nutzpflanzen.

### 3 Feldeinsatz in verschiedenen Trägersystemen

Der so aufgebaute MWLP-Weeder wurde in verschiedenen Szenarien getestet. Zum einen wurde eine mehrreihige, Traktor-gezogene Beikrautregulierungsmaschine aufgebaut. Diese wurde als 6-reihiger Aufbau in ökologisch angebauten Zuckerrüben und als 4-reihiger Aufbau in Biomais auf einem Praxisbetrieb in Mecklenburg-Vorpommern getestet. Hierbei wurde die Maschine neben den in den Pflanzreihen arbeitenden MWLP-Weeder-Elementen mit Hackscharen für den „inter-row“ Bereich versehen. Dies ermöglicht eine kombinierte Bearbeitung der Bereiche „inter-row“, „intra-row“ und „close-to-crop“ in einem Arbeitsgang. Zum anderen wurde der MWLP-Weeder als Modul für den Feldroboter BoniRob in einem Maisbestand des Experimentierfeldes AgroNordwest getestet. Beide Einsatzszenarien sind in Abbildung 2 gezeigt.



6-reihiger Traktor-Anbaugerät  
Aufbau in Zuckerrüben



BoniRob-App Kombination  
in Mais

Abb. 2: MWLP-Weeder in verschiedenen Einsatzszenarien

Insgesamt konnte in beiden Einsatzszenarien die Funktionalität des MWLP-Weeders gezeigt werden. Abbildung 3 zeigt ein beispielhaftes Ergebnis der Bearbeitung. Hierbei wird das Einsatzergebnis des MWLP-Weeders im Traktor-gezogenen Aufbau im Mais

gezeigt. Zum Vergleich wurde bei der vorherigen Bearbeitung das auf die im Bild obere Reihe gerichtete MWLP-Weeder-Element deaktiviert. Das auf die im Bild untere Reihe gerichtete Element war aktiviert. Es wird deutlich, dass hier im Bereich „inter-row“ sowie im unteren Bildbereich flächig inkl. „intra-row“ und „close-to-crop“ eine Bearbeitung der Beikräuter erfolgt ist, während die Beikräuter im oberen Reihenbereich aufgrund des deaktivierten Elementes weiterhin vorhanden sind.

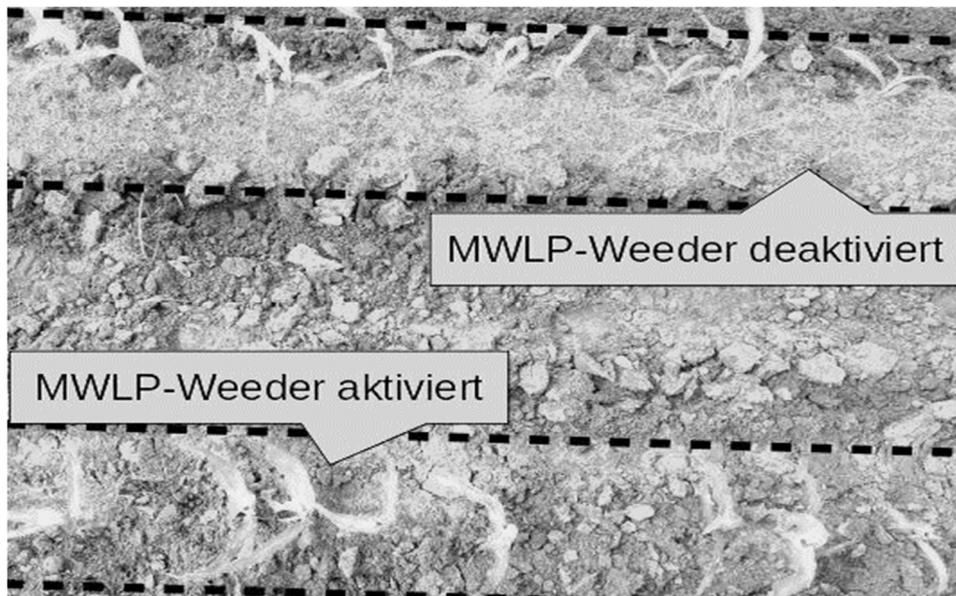


Abb. 3: Beispielhaftes Arbeitsergebnis des MWLP-Weeder in Mais

Während der Feldtests wurden eine Reihe von Problemen für den Dauereinsatz des MWLP-Weeders erkannt. So führte die Methode der flächigen Bearbeitung des Feldes unter Auslassen der Nutzpflanzen aufgrund der hohen Auflösung der Stempel und dem damit verbundenen geringen Stempelabstand regelmäßig zu großem Erdaufbau vor den Mikrohackscharen. Diesem Problem konnte durch eine Anpassung der Ansteuerung begegnet werden, in dem die Stempel regelmäßig nach einem bestimmten maximalen Verweilweg in Arbeitsposition, wieder für einen kurzen Augenblick ausgehoben werden, auch wenn sich an dieser Stelle des Feldes keine Nutzpflanze befindet. Auf diese Weise fließt die Erde regelmäßig ab, wobei die Aushebedauer so kurz ist, dass ggf. an der Stelle des Aushebens befindliche Beikräuter dennoch verschüttet werden.

#### 4 Diskussion und Ausblick

Neben der Erkenntnis, dass die Funktionalität in beiden Trägersystemen gezeigt werden konnte, haben die Tests noch eine Reihe von Voraussetzungen gezeigt, welche für eine

weitere Skalierung des MWLP-Weeders in Richtung einer kommerziell verfügbaren Beikrautregulierungslösung erfüllt sein müssen. So spielt die Feldvorbereitung eines feinkrümeligen Saatbetts eine wichtige Rolle. Unzureichend eingearbeitete und wenig zerkleinerte Organik führt ebenfalls zu Verstopfungen der Stempelaktork.

Weiterhin ist eine hochgenaue Lenkung (basierend auf Sensorinput, nicht RTK) für ein optimales Hackergebnis, insb. am Hang, erforderlich, ebenso wie eine gute Tiefenführung bei wechselnden Bodenarten. In diesen Bereichen sind in der kommenden Saison ergänzende Automaten geplant. Des Weiteren sollen in der kommenden Saison direkte Vergleiche mit alternativen Hacktechnologien („inter-row“/„intra-row“) durchgeführt werden, um zu prüfen, wie sich die im Vergleich zu Alternativtechnologien deutlich erhöhte Aktorzahl pro Reihe und die damit verbundene Verbesserung der Bearbeitungsauflösung im Feld agronomisch niederschlägt.

Mit den Verbesserungen im Bereich der Lenkungs- und Tiefenführungsautomatik werden in der kommenden Saison weitere Robustheitstests durchgeführt, um den Feldeinsatz zu erweitern und den Transfer der Forschungsergebnisse in Richtung einer kommerziellen, optisch angesteuerten Weedinglösung voranzutreiben, welche die Bearbeitung der Bereiche „inter-row“, „intra-row“ und „close-to-crop“ in einem System abbildet.

#### Danksagung

Die Arbeiten fanden im Umfeld des Forschungsprojektes „Experimentierfeld Agro-Nordwest“ statt, welches durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gefördert wird.

Weiterer Dank gilt dem Biobetrieb Agrarhof Brüel e. G. für die Möglichkeit, die Technologien auf den Flächen des Betriebes im großflächigen Praxisanbau testen zu können.

#### Literaturverzeichnis

- [La14] Langsenkamp, F.; Sellmann, F.; Kohlbrecher, M.; Kielhorn, A.; Strothmann, W.; Michaels, A.; Ruckelshausen, A.; Trautz, D.: Tube Stamp for mechanical intra-row individual Plant Weed Control. In: 18th World Congress of CIGR, CIGR2014, Beijing, China, Sept.16-19, 2014, paper book.
- [Ma20] Machleb, J.; Peteinatos, G.; Kollenda, B.; Andújar, D.; Gerhards, R.: Sensor-based mechanical weed control: Present state and prospects In: Computers and Electronics in Agriculture, Volume 176, 2020, S. 105638, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105638>.
- [St17] Strothmann, W.; Ruckelshausen, A.; Hertzberg, J.; Scholz, C.; Langsenkamp, F.: Plant classification with In-Field-Labeling for crop/weed discrimination using spectral features and 3D surface features from a multi-wavelength laser line profile system. In: Computers and Electronics in Agriculture, Volume 134, March 2017, S. 79-93, ISSN 0168-1699, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.003>.