

## **Unkrautregulierung durch regelmäßige Bestrahlung mit Blaulicht-Laser als Herbizidersatz**

*Weed control with frequent blue-light laser treatment as an alternative to herbicides*

Aurel Neff<sup>1\*</sup>, Patrick Barton<sup>1</sup>, Andrea Koster<sup>2</sup>, Judith Wirth<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ETH Zürich, Institute of Agricultural Sciences, 8092 Zürich, Schweiz

<sup>2</sup>Agroscope Changins, Produktionssysteme Pflanzen, Herbologie Ackerbau, 1260 Nyon, Schweiz

\*aurel.neff@gmail.com

DOI: 10.5073/20220124-080136

### **Zusammenfassung**

Die Verringerung der Menge an Herbiziden, die für die Landwirtschaft verwendet werden, gewinnt an Zugkraft, da ein beträchtlicher Anteil der Konsumenten herbizidfreie Kulturen bevorzugen würde. Die Entwicklung von praxistauglichen und kostengünstigen Alternativen muss jetzt intensiviert werden. Fortschritte in den Bereichen Computer-Vision und Robotik ermöglichen neue Ansätze für eine hochpräzise Unkrautkontrolle in Reihenkulturen wie Soja und Zuckerrüben. Ziel ist, Unkräuter während der sensiblen Wachstumsstadien der Kulturpflanze zu regulieren. Im Rahmen dieser neuen Möglichkeiten wurden Blaulicht-Diodenlaser auf ihre Wirksamkeit untersucht. Nach dem Auflaufen der Kulturpflanzen wurden die Unkräuter sieben Mal im Abstand von 3-5 Tagen bestrahlt. Bei Reihenschluss waren die Flächen unkrautfrei und wurden bis zur Ernte nicht weiter behandelt. Die Methode ist für die Landwirtschaft interessant, da Unkräuter effektiv und präzise kontrolliert und gleichzeitig die Kulturpflanzen in der Nähe geschont werden.

**Stichwörter:** Herbizid-Reduktion, Laser, Methoden der Unkrautkontrolle

### **Abstract**

Decreasing the amount of herbicides used in agriculture is gaining traction as a significant proportion of consumers would favour herbicide-free crops. The development of robust and cost-effective alternatives must be invested now. Advances in computer vision and robotics are enabling new approaches for precision weeding in row crops, such as soy bean and sugar beet. The aim is to inhibit weed growth during the sensitive growth stages of the crop. As part of these new opportunities, the effectiveness of blue diode lasers for weed removal was explored. After the crops emergence, laser treatment is applied to the weeds every 3-5 days. By the time of crop row closure, the areas were found to be weed free and were not treated further until the harvest. The method is interesting for agriculture, as weeds are controlled effectively and precisely, while leaving the cultivated plants in the vicinity unharmed.

**Keywords:** Alternative weed control methods, herbicide reduction, laser

### **Einleitung**

Eine große Herausforderung bei der Umstellung auf ökologische Landwirtschaft ist der Verzicht auf Herbizide. Für den Anbau von Soja wird empfohlen, die maschinelle Unkrautkontrolle, durch Striegeln und Hacken des Bodens, schon vor der Saat auszuführen und dies alle 7-10 Tage bis Reihenschluss zu wiederholen. Zusätzlich sollen Unkräuter von Hand entfernt werden. Bis vor wenigen Jahren waren dazu 50 bis 150 Handarbeitsstunden pro Hektar üblich. Heute, mit den neuesten Geräten und optimaler Planung rechnet man mit 10 bis 50 Stunden Handarbeit (BIOAKTUELL, 2021). Eine weitere Reduktion dieses Arbeitsaufwandes könnte durch eine maschinelle Unkrautregulierung in den Reihen erreicht werden. In den letzten Jahren wurden - neben mechanischen - vor allem thermische Möglichkeiten zur Kontrolle von Unkraut erforscht. BAUER et al. (2020) kommen in ihrem Überblick zum Schluss, dass diese Methoden und

Geräte zu wenig präzise für die Anwendung in der Landwirtschaft sind. Bei der Kontrolle der Unkräuter durch Abflammen, Elektrizität, Infrarot- oder Mikrowellen sowie bei Wärmebehandlungen mit Heißwasser, Heißschaum oder Heißdampf werden die Kulturpflanzen in unmittelbarer Nähe geschädigt. Mit einem Laser ist es möglich, elektromagnetische Strahlung von genau einer Wellenlänge zu erzeugen und diese stark zu bündeln. Dabei ist die Intensität, und damit die Wirkung der Strahlen, dosierbar. Die unbestrahlte Umgebung wird nicht belastet, da nur eine kleine Fläche präzise behandelt wird. Dies kommt den Bedürfnissen der Landwirtschaft zugute (MARX, 2014). Der Einfluss von elektromagnetischer Strahlung auf Pflanzen hängt stark von deren Wellenlänge ab. Die Strahlen werden entweder an der Oberfläche (oberflächliche Verbrennungen) oder im Innern (inneren Verletzungen) absorbiert. Um gesunde, grüne Blätter zu schädigen sind Wellenlängen im blauen Bereich (400-500 nm) gut geeignet. OSADCUKS et al. (2020) haben einen Laser (445 nm, 12 W) im Gewächshaus bei idealen Laborbedingungen eingesetzt und damit das Pflanzenwachstum erfolgreich reguliert. Mit dieser Arbeit sollen ersten Erfahrungen in einem Feldversuch und bei wechselnden Witterungsbedingungen beschrieben werden. Mit einem relativ schwachen Laser (445 nm, 5 W) werden Unkräuter zwischen Sojapflanzen gezielt bekämpft.

## Material und Methoden

### *Versuchsaufbau*

Der Versuch wurde in einem Sojafeld mit der Vorkultur Wintergerste und der abfrierenden Zwischenfruchtmischung AgriGenève 6 im Anschluss (Aussaat 02.07.20) durchgeführt. Das Feld wurde am 04.05.21 ganzflächig mit Glyphosat (5 l/ha, 450 g/l, Roundup Max, Monsanto) behandelt und am 01.06.21 vor der Sojasaat gepflügt (Tiefe 20 cm) sowie mit einer Kreiselegge (Tiefe 5-10 cm) bearbeitet. Für den Versuch wurden neun Aluminiumrahmen (Größe: 0,46 m x 1,16 m, 0,53m<sup>2</sup>) ausgelegt (Abb. 1). Die Laser-Bestrahlung erfolgte in drei Rahmen insgesamt sieben Mal nach dem Auflaufen der Kulturpflanzen an folgenden Daten: 08.06.21, 11.06.21, 14.06.21, 19.06.21, 22.06.21, 26.06.21 und 03.07.21. Die behandelten Unkräuter befanden sich aufgrund der regelmäßigen Behandlung mehrheitlich im Keimblattstadium und waren kleiner als 0,1 m. Sie wurden manuell mit einem eher schwachen Blaulicht-Laser (445 nm, 5 W) für 3-5 Sekunden bestrahlt. Die Monokotyledonen wurden nahe dem Boden und seitlich am Stängel durch den Laser behandelt. Bei dikotyledonen Pflanzen wurde der Fokus auf das Sprossmeristem in der Mitte der Pflanze gerichtet. Bei Reihenschluss im BBCH 24 (13.07.21) wurde in allen Rahmen die Kulturhöhe gemessen, das Erscheinungsbild visuell beurteilt und die Anzahl Sojapflanzen ermittelt. Zudem wurden die Unkräuter innerhalb der behandelten und nicht behandelten Rahmen gezählt und falls möglich bestimmt. Danach wurden alle Unkräuter nahe beim Boden abgeschnitten und für die Bestimmung der Biomasse bei 80°C (Trockenschrank Model FED 720, Firma Binder, Tuttlingen, Deutschland) für 48 Stunden getrocknet. Vier Wochen nach Reihenschluss im BBCH 82 (09.08.21) wurde die Kulturhöhe gemessen und alle Sojaschoten, welche grösser als 2 cm waren, gezählt.



**Abbildung 1** Sojafeld am 08.06.21 (links) und 09.08.21 (rechts)

**Figure 1** Soy field on 08.06.21 (left) and 09.08.21 (right)

### Statistische Auswertung

Mit den Resultaten wurden zwei Hypothesen getestet:

1. Bei der Anzahl Unkräuter besteht ein signifikanter Unterschied zwischen behandelten und nicht behandelten Flächen.
2. Bei der Kulturhöhe wie auch bei der Anzahl Sojaschoten besteht kein signifikanter Unterschied zwischen behandelten und nicht behandelten Flächen.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden zweiseitige T-Tests mit einem Alpha von 0,05 durchgeführt unter der Annahme, dass die Werte normalverteilt sind.

### Ergebnisse

In den nicht behandelten Rahmen traten eine höhere Anzahl und vermehrt ältere Unkräuter auf, während die behandelten Flächen jeweils nur wenige, junge Unkräuter aufwiesen (Abb. 2).



**Abbildung 2** Nicht behandelte Fläche (links) und behandelte Fläche (rechts) am 13.07.21.

**Figure 2** Untreated area (left) and treated areas (right) on 13.07.21.

Die wiederholte Laserbehandlung der Unkräuter war sehr erfolgreich. Tabelle 1 zeigt, dass bei Reihenschluss auf den nicht behandelten Flächen durchschnittlich 143,5 Unkräuter pro Rahmen vorkamen und Monokotyledone (89,2) häufiger waren als Dikotyledone (54,3). Bei den Monokotyledonen handelte es sich vorwiegend um Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), bei den Dikotyledonen um Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Vielsamigen Gänsefuß (*Chenopodium polyspermum*), Schwarzen Nachtschatten (*Solanum nigrum*) und Breitwegerich (*Plantago major*) (Tab. 2).

**Tabelle 1** Anzahl monokotyledoner und dikotyledoner Unkräuter innerhalb nicht behandelter (n=6) und behandelter Flächen (n=3) ± Standardabweichung bei Reihenschluss im BBCH 24 (13.07.21) und vier Wochen nach Reihenschluss im BBCH 82 (09.08.21). Statistisch signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

**Table 1** Monocotyledonous and dicotyledonous weeds on treated (n=3) and untreated (n=6) areas at row closure (13.07.21) and four weeks later (09.08.21)

Unkräuter pro 0,53 m <sup>2</sup>	BBCH 24		BBCH 82	
	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen
Monokotyledone	89.2 ± 15.7 a	0.0 b	5.2 ± 3.8 a	0.0 b
Dikotyledone	54.3 ± 21.4 a	1.3 ± 1.2 b	26.7 ± 4.0 a	2.0 ± 1.4 b
Total	143.5 ± 18.0 a	1.3 ± 1.2 b	31.8 ± 4.2 a	2.0 ± 1.4 b
Trockengewicht [g]	21.6 ± 7.0 a	0.0 b	-	-

Auf den behandelten Flächen traten keine Monokotyledonen und nur sehr wenige Dikotyledonen (1,3) auf, welche sich entweder am Rand oder im Keimblattstadium befanden (Abb. 2, Tab. 1 und 2).

**Tabelle 2** Art und Anzahl dikotyledoner Unkräuter bei Reihenschluss (13.07.21). Durchschnittliche Anzahl Unkräuter innerhalb nicht behandelter Flächen (n=6) und behandelter Flächen (n=3) ± Standardabweichung.

**Table 2** Type and number of weeds on untreated (n=6) and treated (n=3) areas at row closure (13.07.21)

Unkräuter	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	6.8 ± 3.9	0.0
<i>Chenopodium polyspermum</i>	4.7 ± 6.3	0.0
<i>Solanum nigrum</i>	4.2 ± 2.4	0.0
<i>Plantago major</i>	3.3 ± 1.7	0.0
<i>Veronica persica</i>	1.8 ± 1.2	0.0
<i>Amaranthus retroflexus</i>	1.7 ± 2.1	0.0
<i>Chenopodium album</i>	1.7 ± 1.5	0.0
<i>Sonchus arvensis</i>	1.5 ± 1.0	0.0
andere Dikotyledonen	28.7 ± 19.3	1.3 ± 1.2

Es traten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Sojapflanzen in den behandelten und nicht behandelten Flächen auf (Tab. 3). Die Sojapflanzen befanden sich bei Reihenschluss (13.07.21) im selben Wachstumsstadium (BBCH 24) und hatten ein ähnliches Erscheinungsbild. Auch vier Wochen nach Reihenschluss (09.08.21) war die Höhe der Kulturpflanzen auf den nicht behandelten und behandelten Flächen ähnlich. Die Pflanzen befanden sich im selben Wachstumsstadium (BBCH 82), hatten größtenteils ein ähnliches Erscheinungsbild und die Anzahl Schoten pro Sojapflanze war identisch (Tab. 3). In zwei aufeinanderfolgenden Versuchsrahmen (einer mit und einer ohne Behandlung) waren jedoch etwa die Hälfte der Pflanzen auf den Boden gedrückt. Dies hatte einen größeren Einfluss auf die Ergebnisse der behandelten Rahmen, da die totale Anzahl der Flächen halb so groß war. Auf den nicht behandelten Flächen traten zu diesem Zeitpunkt mehr (31,08) und zum Teil auch blühende Unkräuter auf. Auf den behandelten Flächen wurden - auch ohne weitere Laser-Behandlungen - nur wenige (2,0) junge Unkräuter bonitiert (Tab. 1).

**Tabelle 3** Höhe der Sojapflanzen und Anzahl Sojaschoten pro Pflanze. Durchschnittliche Höhe der Sojapflanzen innerhalb nicht behandelter Flächen (n=6) und behandelter Flächen (n=3) ± Standardabweichung bei Reihenschluss im BBCH 24 (13.07.21) und vier Wochen nach Reihenschluss im BBCH 82 (09.08.21). Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden

**Table 3** Height of soybean plants and number of soybean pods per plant on treated and untreated areas four weeks after row closure (09.08.21)

Kulturpflanzen pro 0,53 m <sup>2</sup>	BBCH 24		BBCH 82	
	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen
Sojapflanzen	33.0 ± 1.9	34.0 ± 0.8	33.0 ± 1.9	33.3 ± 0.5
Kulturhöhe [cm]	60.2 ± 2.8	65.8 ± 4.1	103.4 ± 6.6	103.8 ± 7.6
Sojaschoten > 2cm pro Pflanze	-	-	17.3 ± 1.5	16.5 ± 2.4

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass durch kontinuierliche Bestrahlung mit einem Blaulicht-Laser die Unkräuter im Feld kontrolliert werden können. Geschieht dies bis Reihenschluss treten - auch ohne weitere Behandlung - nur vereinzelte, juvenile Unkräuter auf. Das Blühen von Unkräutern wird verhindert. Die Ergebnisse

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online bestätigen OSADCUKS et al. (2020) welche bereits gezeigt haben, dass durch leichte Laserbehandlung Pflanzen zerstört werden können. Während deren Versuche im Gewächshaus stattgefunden haben, wurden die hier beschriebenen Daten unter Feldbedingungen erhoben. Zudem wurde ein schwächerer Laser verwendet. Dieser reichte aus, die juvenilen Unkräuter zu regulieren. Bei regelmäßiger Behandlung treten hauptsächlich juvenile Unkräuter auf. Somit ist diese Methode für die Landwirtschaft interessant. BAUER et al. (2020) hat die Vorteile einer Laserbestrahlung hervorgehoben, insbesondere den Schutz der Kulturpflanzen. Die These wurde mit diesem Versuch bestätigt, die Laserbehandlung hat keine ersichtlichen negativen Auswirkungen auf die Kulturpflanze im Gegensatz zur Gasverbrennung, Dampf- oder Heißwasseranwendung. Für statistisch relevante Aussagen müsste der Versuch auf größeren Flächen, unterschiedlichen Böden und mehrjährig durchgeführt werden. Bezüglich der Laser-Behandlung könnte die Methode weiter optimiert werden. Der Bestrahlungsrhythmus (Anzahl Tage zwischen zwei Laser-Behandlungen) könnte verlängert und damit die Anzahl Anwendungen pro Kultur verringert werden. Weiterhin sollte die Bestrahlungsdauer an die Pflanzenarten, die Größe der Pflanzen und die Witterung angepasst werden. Damit die Methode als Herbizidersatz in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann, muss sie automatisiert werden. Der Blaulicht-Laser sollte von einem Roboter durch die Reihen geführt und seine Neigung durch Motoren an die Art und Größe der Unkräuter angepasst werden. Das Anvisieren des Zieles und die Bestrahlung sollten selbständig mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems erfolgen, welches in der Lage ist, Kulturpflanzen und Unkräuter zu unterscheiden und die sensiblen Stellen für die Bestrahlung zu erkennen. Die Entwicklung dieser erweiterten Methode ist allerdings aufwändig. Einerseits ist sie technisch anspruchsvoll und benötigt einen ausführlichen Datensatz, andererseits muss sie sich unter Freilandbedingungen bewähren. Zudem muss der systematische Ansatz geprüft werden. Der große Vorteil der Laserbehandlung, die gezielte Anwendung, ist auch deren größter Nachteil: Bei hohem Unkrautdruck kann die Geschwindigkeit der Methode beträchtlich abnehmen und dementsprechend teuer werden. Dieses Risiko könnte durch Parallelisierung von Lasermodulen oder Kombination mit Hackwerkzeugen minimiert werden.

## Literatur

- BAUER, M.V., C. MARX, F.V. BAUER, D.M. FLURY, T. RIPKEN, B. STREIT, 2020: Thermal weed control technologies for conservation agriculture – a review. *Weed Research* **60**, 241– 250. DOI: 10.1111/wre.12418 <https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/koernerleguminosen/sojy-hacken-de.html>.
- MARX, C., 2014: Untersuchungen zum Einsatz von Lasertechnologie in der Pflanzenproduktion. Zugl. Dissertation, Hannover, Leibniz Universität. ISBN: 978-3-944586-61-8.
- OSADCUKS, V., A. KOSTROMINS, A. PECKA, V. KOTELENECS, J. JASKO, 2020: Experimental efficiency evaluation of 445 nm semiconductor laser for robotized weed control applications. *Agronomy Research* **18** (2), 1380-1387, DOI: 10.15159/AR.20.135.