

Thermische Wirkung von Laserstrahlung auf Pflanzen

Als Beitrag zur Entwicklung nicht-chemischer Methoden zur Unkrautbehandlung wurden in Potsdam Versuche unter Laborbedingungen mit Lasern durchgeführt. Für die Untersuchung der Wirkungen von Laserstrahlung auf Pflanzenmaterial standen ein Kohlendioxidlaser und ein Nd:YAG-Laser zur Verfügung. Der Beitrag präsentiert grundsätzliche Überlegungen zum Einsatz der Lasertechnik für die Unkrautbehandlung sowie erste Versuchsergebnisse. Die technologischen Anforderungen für eine Unkrautbehandlung durch Laserstrahlung sowie Aspekte der Anwendung unter Feldbedingungen werden diskutiert.

Dr.-Ing. Hans-R. Langner und Dipl.-Ing. (FH) Michael Heisig sind Mitarbeiter der Abteilung Technik im Pflanzenbau am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Dr.-Ing. Detlef Ehlert leitet diese Abteilung, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim; e-mail: hlangner@atb-potsdam.de, dehlert@atb-potsdam.de
Dipl.-Ing. Andreas Kirste ist Mitarbeiter an der FH Brandenburg.

Schlüsselwörter

Unkrautbehandlung, Laserstrahlung, Bewertung

Keywords

Weed control, laser radiation, assessment

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06527 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.



Bild 1: CO₂-Laser vom Typ Laserbrand XL

Fig. 1: CO₂-laser, model Laserbrand XL used

Unkräuter konkurrieren mit angebauten Kulturpflanzen um Standraum, Wasser und Nährstoffe. Bei Anwendung des Schadschwellenprinzips wird die Ertragsmindernde Wirkung nicht mehr in Kauf genommen, wenn die Ertragsverluste höher sind als die Aufwendungen für ihre Behandlung. In diesem Fall kommen sowohl im ökologischen als auch im integrierten Landbau unterschiedliche Behandlungsmethoden zur Anwendung [1]. Flächenmäßig betrachtet hat die chemische Unkrautbehandlung die größte Verbreitung. Synthetische Herbizide werden jedoch hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen kritisch gesehen und sind im ökologischen Landbau nicht zugelassen. Alternative Methoden der Unkrautbehandlung durch Abflammen oder Einschäumen konnten sich im Pflanzenbau bisher nicht im größeren Umfang einführen [2].

Die prinzipielle Möglichkeit des Einsatzes von Laserstrahlung zur Schädigung von Unkrautpflanzen wird in den Patentschriften [3] und [4] genannt. Einige wissenschaftliche Veröffentlichungen berichten über die Schädigung von CO₂-Laserstrahlen auf Pflanzen unter Laborbedingungen [5, 6]. In diesen Untersuchungen wurden Stängel von Unkräutern und Zuckerrüben dem Strahl eines in der Intensität einstellbaren CO₂-Lasers ausgesetzt und die Schädigungswirkung beurteilt. Da der Laserstrahl nicht parallel zur Bodenoberfläche geführt werden konnte, wurden die Töpfe mit den angezogenen Ver-

suchspflanzen um einen Anstellwinkel von 15° geneigt. Dieser Anstellwinkel von 15° wird unter Feldbedingungen nicht ausreichen, um den Laser vor Schädigungen durch Steine oder Bodenwälle zu bewahren. Um einer fahrzeuggestützten Laseranlage ausreichende Sicherheit gegen mechanische Beschädigungen und Umwelteinflüsse wie Spritzwasser oder Staub zu geben, sollte der Laserstrahl möglichst senkrecht ausgerichtet sein und einen Abstand von mindestens 500 mm zum Boden haben.

Um Unkrautpflanzen mit Laserstrahlen effektiv behandeln zu können, müssen drei technische Grundprobleme gelöst werden:

- Sichere Bildanalyseverfahren zur Erkennung der Unkrautpflanzen, Unterscheidung von Kulturpflanzen und genaue Ableitung der Zielkoordinaten für die Laseraktuatorik
- Präzise Laseraktuatorik für das schnelle Ausrichten auf die Zielkoordinaten unter Beachtung der Fahrgeschwindigkeit der Landmaschine
- Schnelle Aufheizung der Unkrautpflanzen oder wesentlicher Teile davon in wenigen Millisekunden bei vertretbarem Energieaufwand.

Der vorliegende Beitrag zur Unkrautbekämpfung mit Laserstrahlen konzentriert sich auf das zuletzt genannte Problem, da dessen Lösung eine unbedingt notwendige Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Laserverfahren darstellt.

Tab. 1: Technische Parameter der verwendeten Laseranlagen

Table 1: Technical parameters of the laser systems

	Lasag SLS 200	Lumonics Laserbrand XL
Wellenlänge der Strahlung	1,06 µm	10,6 µm
Energie pro Impuls	regelbar, max. 50 J	5 J
Mittlere Pulsleistung	10 W bis 220 W	40 W
Dauer eines Impulses	0,1 ms bis 20 ms	1 µs bis 10 µs
Pulsfrequenz	0,1 Hz bis 1000 Hz	1 Hz bis 720 Hz

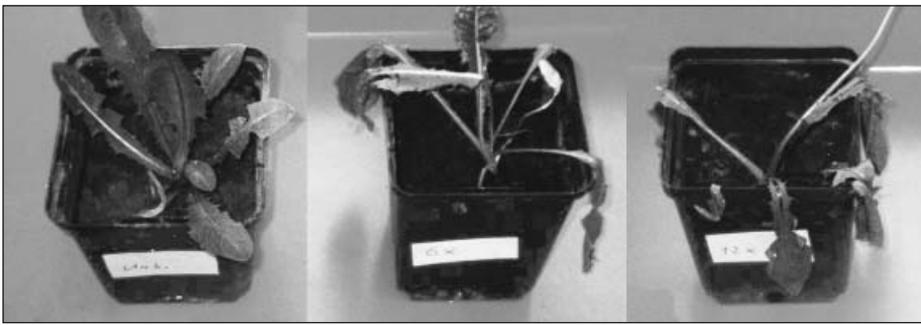


Bild 2: Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) behandelt mit 6 Pulsen (Mitte) und 12 Pulsen (rechts) der Laserbrand XL Anlage im Vergleich zu einer unbehandelten Pflanze (links)

Fig. 2: *Taraxacum officinale* treated with 6 pulses (center) and treated with 12 pulses (right) of the Laserbrand XL system relative to the untreated plant (left)



Bild 3: Laserkopf des Lasag SLS 200

Fig. 3: Laser head of Lasag SLS 200

Untersuchungsmethoden und eingesetzte Laser

Kohlendioxidlaser (CO_2 - Laser)

emittieren Laserstrahlung im infraroten Spektrum bei $10,6 \mu m$ Wellenlänge. Diese Wellenlänge liegt im Bereich eines Wasserabsorptionsbandes. Wasserreiches Pflanzenmaterial absorbiert die CO_2 -Strahlung somit sehr gut und lässt sich schnell aufheizen. Die Eindringtiefe eines CO_2 -Laserstrahls in das Pflanzenmaterial beträgt allerdings weniger als $0,1 mm$, so dass eine thermische Wirkung bei Blättern im Wesentlichen in der oberen Epidermis erfolgt [7].

Für die Untersuchungen an Pflanzen stand ein CO_2 - Lasersystem Laserbrand XL der Firma GSI Lumonics zur Verfügung. Das Laserbrand XL System besteht aus einem Lasermodul mit Resonator, optischem System, Hochspannungsversorgung, Steuerelektronik (Bild 1) sowie diversen Zusatzeinrichtungen wie Strahlauskopplung, Kontrolleinheit und integriertem Schutz- und Kontrollsystem für den Personenschutz. Die Anlage Laserbrand XL zeichnet sich durch sehr kurze Laserblitze kleiner $10 \mu s$ und eine hohe Pulsfrequenz aus.

Eine erste Untersuchungsreihe benutzte Unkrautpflanzen in einem fortgeschrittenen Wachstumsstadium. Am Beispiel von Löwenzahn wurde die Eignung des CO_2 - Lasers zur Behandlung von Problemunkräutern untersucht. Die Pflanzen wurden senkrecht von oben, mit einem Abstand von $450 mm$ zum Laserkopf auf das Wuchszentrum bestrahlt, wobei die maximal verfügbare Impulsenergie von $5 J$ verwendet wurde.

Exemplarisch ist die Wirkung einer Be-

¹⁾ Die Untersuchungen am Nd:YAG- Laser SLS 200 wurden an der FH Brandenburg durchgeführt.

Behandlung	Anzahl	1. Tag	2. Tag	3. Tag
1 Impuls , 5 J	5	1,2	2,5	2,5
6 Impulse , 5 J	10	2,3	4,5	5
12 Impulse , 5 J	10	4,5	5	5

Tab. 3: Arithmetisch gemittelte Boniturzahlen bei *Valerianella olitoria*

Behandlung	Anzahl	1. Tag	3. Tag	5. Tag
Energiedichte $2,5 J/cm^2$	100	1,5	2,3	2,5
Energiedichte $5 J/cm^2$	100	2,5	4	4

handlung mit 6 und 12 CO_2 - Laserimpulsen im Bild 2 abgebildet (Mitte, rechts) im Vergleich zu einer unbehandelten Löwenzahn-pflanze (links).

Neodymium:Yttrium-Aluminium-Garnet-Laser (Nd:YAG - Laser)

sind Festkörperlaser, die Strahlung mit $1,06 \mu m$ Wellenlänge im infraroten Spektralbereich emittieren. Für die Untersuchung stand ein Nd:YAG Schweißlaser SLS 200¹⁾ der Firma Lasag zur Verfügung. Das Lasersystem SLS 200 besteht aus der Strahlerzeugung, einer Strahlauskopplung über Lichtleitfaser und einer Laseraktuatorik, die das genaue Positionieren des Laserstrahls auf die Zielkoordinaten ermöglicht (Bild 3).

Für Untersuchungen mit dem Nd:YAG-Laser wurden vier Pflanzschalen mit jeweils 100 Pflanzen angezogen, wovon zwei Pflanzschalen 14 Tage nach Aussaat mit Laserstrahlung behandelt wurden und zwei Schalen als Referenz unbehandelt blieben. Die Behandlung der Pflanzen erfolgte mit dem Nd:YAG- Laser senkrecht von oben bei einem festen Abstand von $915 mm$ zum Laserkopf. In beiden Pflanzschalen wurde jeweils eine Hälfte der Pflanzschale (50 Pflanzen) mit der Energiedichte von $2,5 J/cm^2$ und die andere Hälfte (50 Pflanzen) mit einer Energiedichte von $5 J/cm^2$ behandelt. Durch eine Aufweitung des Laserstrahls auf $5 cm$ Durchmesser konnten die Pflanzen ganzflächig bestrahlt werden.

Ein allgemeiner Vergleich der Lasertypen zeigt, dass CO_2 - Laser im zeitlichen Mittel die höchsten Strahlleistungen liefern können. Bezogen auf einzelne Impulse erreichen jedoch die Nd:YAG- Laser größere Leistungen von mehreren $10 kW$ [8]. Die Anlage SLS 200 der Fa. Lasag zeichnete sich

Tab. 2: Arithmetisch gemittelte Boniturzahlen bei *Taraxacum officinale*

Table 2: Mean values of *Taraxacum officinale* ratings

Table 3: Mean values of *Valerianella olitoria* ratings

in den Versuchen dadurch aus, dass die Parameter für Einzelimpulse sehr flexibel einstellbar waren und der Laserkopf über den Proben frei positioniert werden konnte. Dadurch war ein automatisches Abscannen der Pflanzschalen mit dem Laserkopf möglich.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Laserbehandlungen wurden nach folgendem Bewertungsschema erfasst: keine visuelle Schädigung = 1, leichte Nekrose bis 25% = 2, mittlere Nekrose mit $\sim 50\%$ = 3, schwere Nekrose mit $\sim 75\%$ = 4, Pflanzen komplett zerstört = 5. Löwenzahn-Pflanzen wurden nach der Behandlung mit dem CO_2 - Laser über drei Tage bonitiert. Die Boniturergebnisse der Pflanzen, arithmetisch gemittelt und getrennt nach Behandlungsart, fasst Tabelle 2 zusammen. Die Behandlung mit jeweils sechs oder zwölf Laserimpulsen zeigt, dass für eine schwere Nekrose der Pflanzen mindestens sechs Impulse mit $5 J$ erforderlich sind.

Die Ergebnisse an zwei Pflanzschalen mit Feldsalat, die mit Nd:YAG- Laserstrahlung behandelt wurden, enthält Tabelle 3. Der Grad der Schädigung oder Wachstumsdepression durch die Laserbehandlung wurde durch Bonituren über fünf Tage erfasst. Es zeigte sich, dass die verwendeten Energiedichten von $2,5 J/cm^2$ für eine schwere Nekrose der Pflanzen nicht ausreichend war.

Die im Vergleich zur ersten Untersuchung geringere Wirkung der Nd:YAG- Strahlung hat zwei Ursachen:

- die Nd:YAG- Strahlung mit der kürzeren Wellenlänge von $1,06 \mu m$ wird vom Pflanzenmaterial schwächer absorbiert,
- die grundsätzlich andere Behandlung des Feldsalats (ganzflächige Behandlung durch aufgeweiteten Laserstrahl) führt zu Strahlungsverlusten. Bei einem geschätzten Bedeckungsgrad der Pflanzschalen von 75% innerhalb der laserbestrahlten Flächen wirkten 25% der Nd:YAG- Strahlung nicht auf das Pflanzenmaterial ein.

Auf Grund der Ergebnisse ist zu schließen, dass im Ackerbau die Anwendung von Laserstrahlung die mechanische Unkrautbehandlung oder Feldspritzen nicht ersetzen kann.