

Rainer H. Biller, Braunschweig

# Das Projekt Advanced Optoelectronic System (AOS)

## Teil 1: Zur Weiterentwicklung der sensorgestützten Unkrauterkenennung und -bekämpfung

*Präziser Pflanzenschutz wird die Zukunft sein bei der Unkrautkontrolle. Dabei wird gezielt nur dort Spritzmittel ausgebracht oder auch mechanisch bekämpft, wo Unkräuter eine bestimmte Schadensschwelle überschritten haben. Für die Lokalisierung der Unkräuter kommen überwiegend optisch arbeitende Methoden zum Einsatz - vorwiegend Bildanalyse und optische Sensoren. Am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung wird der Weg verfolgt, durch einen Spektralen Fingerabdruck Unkräuter und Nutzpflanzen zu unterscheiden und mittels eines Multi-Sensor-Systems sicherzustellen, dass im selben Arbeitsgang das Spritzmittel die zu kontrollierenden Unkräuter zielsicher erreicht.*

Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rainer H. Biller ist Wiss. Mitarbeiter am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig;  
e-mail: [rainer.biller@fal.de](mailto:rainer.biller@fal.de)

### Schlüsselwörter

Gezielte Unkrautkontrolle, Bildverarbeitung, Optoelektronik, Sensor

### Keywords

Target directed weed control, image processing, optoelectronic, sensor

**P**räziser Pflanzenschutz wird fester Bestandteil der Pflanzenproduktion zu Beginn des Dritten Jahrtausends sein [1]. Dies bedeutet, dass ein Unkraut nur dort kontrolliert wird, wo es festgelegte Schadensschwelle überschritten hat. Dazu muss das Unkraut lokalisiert und erkannt werden. Schon vor mehr als fünfzehn Jahren wurde damit begonnen, die Voraussetzungen für eine gezielte Unkrautkontrolle zu schaffen. Die Bandbreite der Ansätze reicht von der manuellen Kartierung der Unkrautpopulation bis zur hochauflösenden Luftbildkarte oder zu multispektralen Satellitendaten und von der Erfassung der Geometrie von Pflanzen durch die Kombination verschiedener optischer Sensoren bis zum Einsatz echtzeitfähiger Bildanalyse oder optoelektronischer Sensoren für eine gezielte Online-Spektralanalyse. Dabei sind jedem Ansatz seine speziellen Einsatzgebiete und Vorteile - aber auch seine Grenzen - durch Natur, Umwelt, physikalische Gesetze sowie den Stand der Technik gegeben.

Bei der gezielten Unkrautbekämpfung werden sowohl chemische als auch mechanische (oder auch andere) Verfahren eingesetzt. Aufgrund der hohen Komplexität spielen jedoch mechanische Verfahren eine relativ untergeordnete Rolle. Allen Ansätzen gemeinsam ist, dass für die Lokalisierung oder Erkennung der Unkräuter optisch arbeitende Sensoren zum Einsatz kommen.

### Gezielte mechanische Unkrautkontrolle mit sensorgestützter Unkrautlokalisierung

Ein erstes Multi-Sensor-System wurde für den Einsatz in Mais entwickelt und arbeitet mit Fotodioden zur Bestimmung der Wuchshöhe, welche für Mais und das Unkraut unterschiedlich ist [2]. Bedingt durch Kosten und technischen Aufwand ist jedoch ein Durchbruch in der Praxis nicht zu erwarten. Der Einsatz neuartiger optischer Sensoren wird untersucht [3]. Anstelle von mechanischen Werkzeugen kann auch Hochspannung eingesetzt werden, um Unkräuter in Sonderkulturen zu zerstören [4]. Mit einem

zweistufigen Bildverarbeitungssystem werden die Pflanzen lokalisiert. Für den Einsatz von mechanischen Werkzeugen zur Unkrautbekämpfung in weitreihig gesäten Feldfrüchten wurde ein Roboter entwickelt, bei dem die Pflanzen mit einer FUGA Kamera detektiert werden [5]. Einen selbstfahrenden Roboter zur mechanischen oder chemischen Unkrautbekämpfung einzusetzen ist auch das Ziel des Projektes 'Robotic Weeding' (RoBoWeed), bei dem mit Bildanalyse die Nutzpflanzen und Unkräuter identifiziert werden und mit hochpräzisen mechanischen Werkzeugen - aber auch chemisch - die Unkräuter bekämpft werden [6]. Für den Einsatz in Zuckerrüben wurde ebenfalls ein autonomer Roboter als Prototyp und Forschungsfahrzeug entwickelt, der auf der Basis von Nahinfrarotaufnahmen die Reihen der Zuckerrüben erkennt [7]. Das Ziel ist, mit mechanischen Werkzeugen die Unkräuter zwischen den Reihen zu entfernen.

### Gezielte chemische Unkrautkontrolle mit sensorgestützter Unkrauterkenennung

Das Unkraut gezielt mit Herbiziden zu kontrollieren, ist vor dem Feldaufgang relativ einfach, da dann nur Pflanzen vom Boden unterschieden werden müssen. Sie gestaltet sich jedoch recht schwierig, wenn für einen weitergehenden Einsatz die Unterscheidung zwischen Nutzpflanzen und Unkräutern gefordert ist. Die Unkrautlokalisierung oder Unkrauterkenennung geschieht dann mit optisch arbeitenden Methoden. Dabei wird unterschieden zwischen optischen Sensoren und Einheiten der Bildverarbeitung.

### Bildverarbeitungssysteme zur Pflanzen-erkennung und -unterscheidung

Gut geeignet für die Identifizierung von Pflanzen sind CCD-Shutter-Kameras mit hoher Auflösung. Die Aufnahmen einer vor dem Traktor angebrachten Kamera werden digitalisiert und dann mit Bildauswertungsprogrammen die Pflanzenarten unterschieden [8]. Dazu werden geometrische Merk-

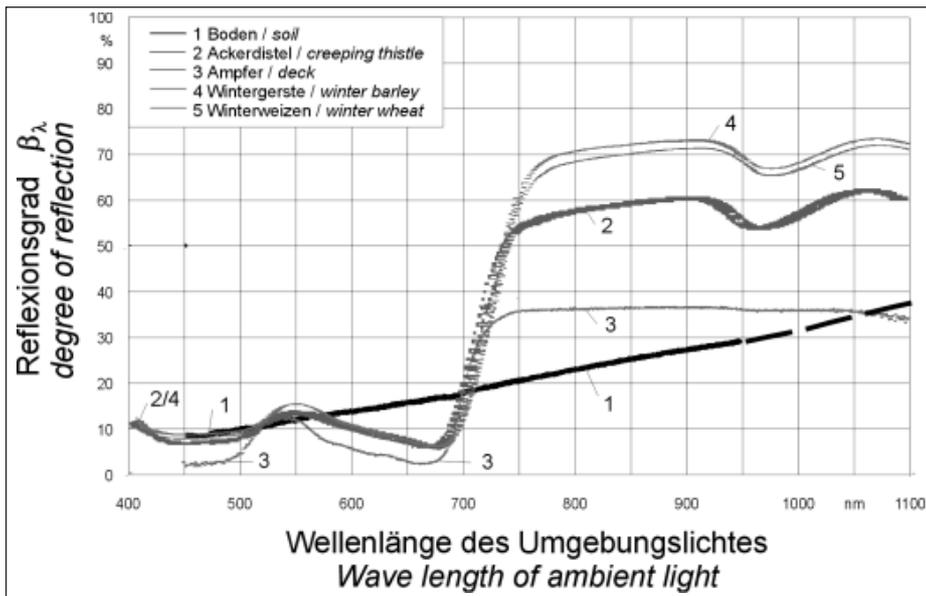


Bild 1: Reflexion von Wintergetreide, Ackerdistel und Ampfer sowie Boden im Wellenlängenbereich des Umgebungslichtes zwischen 400 nm und 1100 nm

Fig. 1: Reflection of winter grains, creeping thistle and deck as well as soil in the wavelength range of ambient light between 400 nm and 1100 nm

male bestimmt und für die Pflanzen in einer Datei abgelegt. Die Erkennungsrate liegt bei etwa 70 %. Bislang werden GPS-gestützt Unkrautkarten erstellt und die Unkrautkontrolle in einem zweiten Arbeitsgang durchgeführt [9]. Die Herbizideinsparung ist abhängig vom Unkrautvorkommen, wird aber im Mittel mit etwa 50 % angegeben. Ein weiterer Prototyp mit 21 m Arbeitsbreite arbeitet mit drei Kameras und kann bei der zweiten Überfahrt zwischen drei verschiedenen Herbiziden auswählen [10].

Ebenfalls mit einer CCD-Kamera wird die Unkrautbedeckung zwischen Maisreihen bestimmt und davon ausgegangen, dass das Unkrautaufkommen in der Reihe dasselbe ist [11]. Mit Hilfe eines Fuzzy-Logic-Algorithmus wurde in Abhängigkeit vom Unkrautdeckungsgrad die Herbizidmenge variiert. Abhängig vom Algorithmus wurden für erstellte Unkrautkarten zwischen 10 % und 16 % Herbizide in der Simulation eingespart.

### Optische Sensoren zur Pflanzenerkennung und -unterscheidung

Optische Sensoren (etwa Fotodioden) sind sehr schnell und deshalb für den Online-Einsatz sehr gut geeignet.

Ein Ansatz setzt solche optischen Sensoren in der Fahrgasse ein, welche dort den Unkrautbesatz ermitteln [12]. Daraus schließt man auf die Verunkrautung im Feld und bringt gezielt mehr oder weniger Herbizide aus - Einsparungen von 20 % bis 40 % sind möglich. Voraussetzung ist die Vergleichbar-

keit des Unkrautwachstums von Fahrraum und Kulturpflanzenbestand, welche mit gut angegeben wird. Eine unkrautbesatzabhängige Teilbreitenabschaltung lässt sich hiermit nicht verwirklichen [13].

Der Einsatz jeweils eines optischen Sensors zur Unterscheidung von Boden und Pflanzen in gemeinsamer Funktion mit einer Spritzdüse im üblichen Abstand von 50 cm an einer Feldspritze verfeinert die Auflösung der gezielten Unkrautkontrolle und ist schon seit mehr als 10 Jahren für den Einsatz auf Schwarzbrache oder vor dem Feldaufgang geeignet [14]. Hier wurden Einsparungen zwischen 30% und 70% erzielt [15]. Besonders geeignet sind solche Systeme auch im Weinbau. Aufbauend auf letztgenanntem System wird an einer Online-Pflanzenunterscheidung gearbeitet, welche den Einsatz auch nach dem Feldaufgang der Nutzpflanze ermöglicht [16]. Der hier gewählten Methode liegt zugrunde ein „Spektraler Fingerabdruck“ der Pflanzen, mit Hilfe dessen bei Anwendung eines geeigneten Algorithmus Unkräuter von Nutzpflanzen unterschieden werden sollen.

Eine stabile Unterscheidung von Unkräutern (Ehrenpreis, Ackerdistel, Vogelmiere, Hirtentäschel, weißer Gänsefuß, Kamille) und den Nutzpflanzen (Mais, Zuckerrübe, Wintergerste) und Boden sowie Stroh wurde anhand eines spektralen Fingerabdrucks aus den Wellenlängen 530, 650, 870, 1450 und 1650 nm und entsprechender Algorithmen für die Unterscheidung schon gezeigt [17, 18]. Allerdings waren die Verhältnisse nahezu ideal, da in einem Behälter jeweils nur ei-

ne Pflanze vorkam. Im weiteren Verlauf wurden verbesserte Algorithmen untersucht, um die Unterscheidung im Feld zu ermöglichen [19].

Ein ähnlicher Ansatz wird mit Fototransistoren und Dünnschicht-Bandpassfiltern im Bereich von 400 nm bis 1700 nm verfolgt [20]. Mit verschiedenen Methoden (Farb-Indices, Fuzzy-Logic, Genetischer Algorithmus) wurde versucht, Weizen, Boden und Gruppen von Unkräutern (in Töpfen gezogen) voneinander unterschieden. Die Unterscheidung bestimmter Unkrautstengel von Weizen und von Boden zeigte sehr guten Erfolg. Werden mehr Unkräuter in das Sichtfeld des Sensors gebracht, steigt die Erkennungsrate für eine Gruppe von neun Unkräutern auf über 70 %. Bei einzelnen Unkräutern sinkt sie unter 50 % [21].

### Das Projekt Advanced Optoelectronic System (AOS)

Der eigenen Konzeption des AOS-Sensors für die Unterscheidung von Nutzpflanzen und Unkräutern liegt - wie oben schon erwähnt - zugrunde, dass aus dem Reflexionsspektrum der Pflanzen ein „Spektraler Fingerabdruck“ genommen wird. Für die Auswahl der Wellenlängenbereiche wurden neben veröffentlichten Reflexionskurven (meist Labormessungen) vor allem eigene Messungen im Labor und auf dem Feld herangezogen.

Wie in Bild 1 beispielhaft zu sehen ist, gibt es etwa zwischen Ackerdistel, Ampfer und Wintergetreide vor allem im Wellenlängenbereich oberhalb 750 nm deutliche Reflexionsunterschiede, die zur Pflanzenunterscheidung genutzt werden können, wenn dort geeignete Fotodioden und Filter positioniert werden. Dies sind Ergebnisse aus Laborversuchen.

Für die Messungen auf dem Feld wurde ein Messwagen aufgebaut. Die Reflexion der zu untersuchenden Pflanzen wird mit einem Sensorprototyp mit fünf Fotodioden und jeweils einem vorgeschalteten Bandpassfilter für eine andere Wellenlänge des Umgebungslichtes erfasst. Die Messdaten werden mit einem Datenerfassungssystem aufgenommen und in einem Laptop gespeichert. Ein Umgebungslichtsensor erfasst das Umgebungslicht direkt und ermöglicht die Korrektur der Messwerte entsprechend dem Spektrum des Umgebungslichtes. Die Lichtintensität wird mit einem Luxmeter gemessen. Alle Pflanzen werden zusätzlich digital fotografiert. Die Messungen werden stationär und in der Überfahrt durchgeführt.

Fortsetzung und Literatur in Teil 2