

Rund 50 % der in Deutschland verkauften Pflanzenschutzmittel (Wirkstoffmengen) werden heute zur Unkrautbekämpfung eingesetzt. Eine Reduzierung des Aufwandes an Herbiziden ist daher aus ökonomischen, vor allem aber auch aus ökologischen Gründen ein lohnendes Ziel. Große Einsparmöglichkeiten eröffnen sich, wenn mit Hilfe moderner Sensortechnik chemische Unkrautbekämpfungsmittel nur dort ausgebracht werden, wo sich auch tatsächlich Unkräuter befinden und wo Schadensschwellen überschritten werden. Die Sensortechnik muß also in der Lage sein, Unkrautpflanzen vom Boden zu unterscheiden, sofern Herbizide vor dem Feldaufgang der Nutzpflanzen eingesetzt werden, oder aber Unkräuter von den Nutzpflanzen zu unterscheiden, wenn nach dem Feldaufgang behandelt wird. Prinzipiell gibt es dafür zwei geeignete Lösungswege: Methoden der Bildverarbeitung und die Verwendung optischer Sensoren.

Mit Hilfe der Bildverarbeitung ist die Erkennung und Unterscheidung verschiedener Unkräuter prinzipiell möglich. Auch der Bedeckungsgrad und damit die Überschreitung von Schadensschwellen kann ermittelt werden. Allerdings ist der notwendige Zeitaufwand für die Bildbearbeitung zu hoch, um den On-line-Einsatz, also Erkennung und Spritzvorgang in einem Arbeitsgang, zu erlauben.

Optische Sensoren ermöglichen es zur Zeit nur, lebende Pflanzen von abgestorbenen Pflanzenresten oder von Boden unterscheiden zu können. Die Unterscheidung verschiedener Nutzpflanzen und Unkräuter gelang zwar schon im Labor unseres Instituts für Betriebstechnik, sie ist jedoch

noch nicht praxisreif. Unabhängig davon sind optische Sensoren aber schnell genug, um grüne Pflanzen auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten On-line von Boden zu unterscheiden und gleichzeitig die Herbizidabbringung zu steuern.

Das Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) hat sich die Aufgabe gestellt, ein auf dem Markt erhältliches optoelektronisches System zur Pflanzenerkennung – das System 'Detectspray' – so weiterzuentwickeln, daß ein sicherer und vor allem einfacher automatisierter Einsatz bei der Unkrautbekämpfung möglich ist. Auch die Verwendung nach dem Auflaufen der Nutzpflanzen soll realisiert werden.



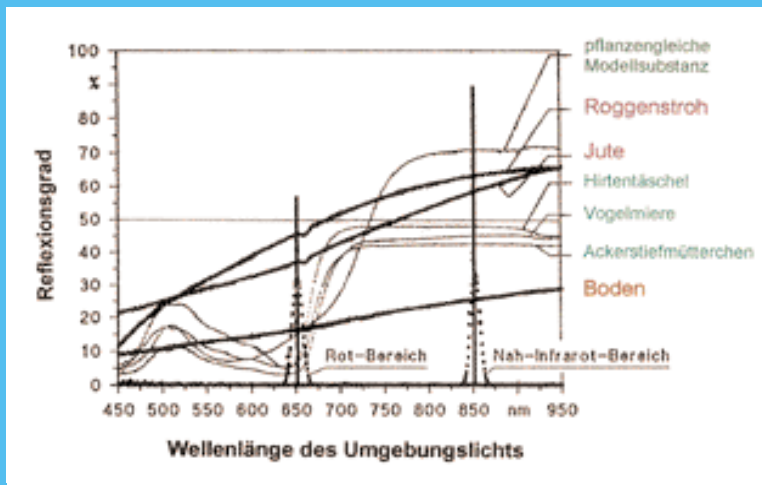
OPTOELEKTRONISCHE SYSTEME ZUR UNKRAUTERKENNUNG

Optoelektronische Systeme zur Unkrauterkenennung und zur gezielten Bekämpfung werden seit 1992 der Praxis angeboten und sind inzwischen in mindestens zwei Varianten für den Einsatz in Obstplantagen, an Bahndämmen oder auf Brachland erhältlich.

Besonders der Einsatz auf Brachland zeigte bei Versuchen in den USA und Australien ein hohes Einsparpotential von 70 bis zu 90 % bei ebenso hoher Erfolgsquote. In den Niederlanden erbrachten Versuche im kommunalen Bereich eine Spritzmittelsparung von durchschnittlich 57 %.

Voraussetzungen für solche Einsparpotentiale sind einwandfreie Einstellung und Funktion. Dabei weist das von uns untersuchte System 'Detectspray' verschiedene Schwächen und Mängel auf, die im Rahmen des hier vorgestellten, von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts behoben werden sollen.

Abb. 1: Reflexion von Unkräutern, Boden, Jute, abgestorbenen Pflanzenresten und einer pflanzenähnlichen Modellschubstanz





Unterscheidung und Einsatz von Herbiziden

von H. Biller (Braunschweig)

Im folgenden werden das System 'Detectspray' und bisher durchgeführte Arbeiten vorgestellt, um abschließend die Weiterentwicklung zu erläutern.

FUNKTIONSPRINZIP

Alle bekannten optoelektronischen Systeme nutzen die Tatsache, daß Tageslicht von grünen Pflanzen grundsätzlich anders reflektiert wird als vom Boden oder von abgestorbenen Pflanzenresten (Abb. 1). Grüne Pflanzen absorbieren das Umgebungslicht sehr stark im Wellenlängenbereich zwischen 630 und 660 nm (rot) und reflektieren es stark im Bereich zwischen 750 und 1200 nm (nah-infrarot). Die Reflexion von Boden dagegen verläuft über den ganzen Bereich nahezu linear und schwach ansteigend. Bildet man das Verhältnis der beiden Reflexionsgrade, so erhält man deutlich unterschiedliche Werte für Boden und für grüne Pflanzen: Beim Boden liegt der Quotient von nah-infrarot durch rot bei etwa 1,1 bis 1,5. Bei grünen

Pflanzen bei etwa 6 bis 15. Dieser Unterschied wird bei optoelektronisch arbeitenden Systemen genutzt: Das im Institut eingesetzte System verwendet zwei Photodioden, die durch Bandfilter nur reflektiertes Licht im Bereich des roten sichtbaren Lichtes bei 645 nm und im Bereich des nah-infraroten Lichtes bei 850 nm empfangen.

Für den Aufbau eines solchen Systems auf einer handelsüblichen Feldspritze benötigt man Spritzsensoren, die jeweils mit einem Magnetventil und einer Spritzdüse zusammenarbeiten. Diese Spritzsensoren weisen zum Boden und empfangen das reflektierte Tageslicht. Die Nachführung an veränderte Tageslichtbedingungen geschieht mit einem Umgebungslichtsensor, der mit den gleichen Photodioden und Filtern ausgerüstet ist und das Tageslicht direkt empfängt. Die Steuerung des Systems übernimmt ein sogenannter Spritzmonitor, an dem alle erforderlichen Einstellungen vorgenommen werden. Über einen BUS arbeiten alle Komponenten zusammen. Das System wird von uns auf Versuchs-



Abb. 2: Datenerfassung auf dem Versuchsschlepper

flächen unter praktischen Bedingungen sowie im Labor unter konstanten Bedingungen untersucht und weiterentwickelt. Während im Labor die Systemeigenschaften genau analysiert werden können und Grenz- und Randbedingungen erfassbar sind, steht im Feld die Funktionstüchtigkeit im Vordergrund.

UNTERSUCHUNGEN IM LABOR

Der Aufbau eines Laborprüfstandes für den Test von optoelektronischen Systemen zur Unkrauterkennung erfordert die Simulation von Tageslicht, von Boden und von Pflanzen. Ein solcher Prüfstand wurde in einem Arbeitsplatzsimulator mit Klimaanlage aufgebaut, da hier konstante klimatische Bedingungen vorhanden sind. Dies ist notwendig, um die Reaktion des optoelektronischen Systems auf veränderte Temperaturen der Proben (oder Unkräuter) zu untersuchen.

Die Simulation von Tageslicht läßt sich sehr gut durch die Verwendung einer Halogenmetall dampflampe (HMI) verwirklichen, deren Spektrum dem des Tageslichtes sehr nahe kommt. Die Farbtemperatur ähnelt mit 5600 K ebenfalls stark dem Umgebungslicht. Die Lichtintensität kann zwischen 50 und 100 % eingestellt werden.

Um eine geeignete Simulation für Boden und grüne Pflanzen zu finden, wurden zunächst Reflexionsmessungen durchgeführt.

Wie Abbildung 1 zeigt, läßt sich Boden gut durch Jute simulieren. Insgesamt liegt die Reflexion von Jute höher als bei dem untersuchten Boden und ist etwas stärker ansteigend. Das Verhältnis der Reflexionsgrade im Bereich der Sensoren ähnelt jedoch dem des Bodens und ist deutlich verschieden von dem für grüne Pflanzen.

Die Simulation von grünen Pflanzen ist möglich durch die Verwendung einer Mischung von Mineralpigmenten (Ti, Ni, Zn), die zusammen mit rein pflanzlichen Bindemit-



Abb. 4: Feldauschnitt mit markierten Unkräutern vor der Spritzung (oben) und nach der Spritzung (unten)

teln eine streichfähige homogene Substanz ergeben. Wie in Abbildung 1 zu erkennen, ist die Reflexion dieser Modellsubstanz im roten und nah-infraroten Bereich der von grünen Pflanzen sehr ähnlich.

Somit ist es möglich, optoelektronisch arbeitende Systeme unter konstanten, reproduzierbaren Bedingungen zu untersuchen.

UNTERSUCHUNGEN AUF VERSUCHSFLÄCHEN

Für die Durchführung von Versuchen im Feld wurde eine Teilbreite einer handelsüblichen Feldspritze mit fünf Spritzsensoren und den zugehörigen Magnetventilen ausgerüstet. Als Vergleich diente eine konventionell ausgerüstete andere Teilbreite der Feldspritze. Der Verbrauch an Spritzbrühe sowie Dauer und Häufigkeit der Einschaltzeiten der Magnetventile wurden mit dem Datenerfassungssystem UNILOG auf dem Schlepper erfaßt (Abb. 2) und mit Hilfe eines Visualisierungsprogramms auf einem Laptop (links im Bild) dargestellt.

Der Einsatz des Systems erfordert bisher noch Bedingungen, bei denen sicher sein muß, daß alle erkannten Pflanzen Unkräuter sind, da mit den verwendeten Sensoren noch nicht zwischen Nutzpflanzen und Unkräutern unterschieden werden kann. Diese Bedingungen sind gegeben auf Schwarzbrache, zwischen den Reihen weitreihig bestellter Feldfrüchte oder vor dem Feldaufgang der Nutzpflanze.

Vor dem Versuch muß das System auf einem unkrautfreien Feldabschnitt oder über Jute abgeglichen werden (vgl. Abb. 3). Es wird dabei der Schwellenwert gesucht, bei dem alle Ventile geschlossen sind.

Systeme wie das hier untersuchte eignen sich vor allem auch auf konservierend bearbeiteten Flächen mit Mulchsaat oder Direktsaat. Bei der Direktsaat wird auf jegliche Bodenbearbeitung und damit auch auf mechanische Unkrautbekämpfung verzichtet. Statt dessen werden nichtselektive Herbizide vor oder kurz nach der Bestellung eingesetzt. Mulchsaat oder Direktsaatflächen sind in der Regel jedoch nicht gleichmäßig mit Unkräutern oder Ausfallgetreide besetzt, so daß gerade hier die vorgestellte Technik ein wesentlicher Fortschritt ist und helfen würde, die Akzeptanz für diese Verfahren zu verbessern.

Bei einem Vergleichstest des konventionellen mit dem weiterentwickel-



Abb. 3: Abgleich des Systems Detectspray über Jute

ten System wurde auf einer Direktsaatfläche zu Mais nach Phacelia das Herbizid Roundup Ultra eingesetzt. Auf dem Feld wurden acht Meßstrecken von 150 m Länge gekennzeichnet, auf denen 'Detectspray' zum Einsatz kam. Um die Effizienz zu dokumentieren, wurden auf diesen Meßstrecken insgesamt 18 Feldausschnitte von je einem Quadratmeter abgesteckt und die darin befindlichen Unkräuter gekennzeichnet. Dabei wurden nicht nur übliche Unkräuter wie Vogelmiere oder Hirtentäschel festgestellt, sondern auch Taubnesseln oder einjähriges Rispen gras. Diese Ausschnitte wurden vor dem Spritzen fotografiert und nach etwa zwei Wochen Kontrollaufnahmen angefertigt. Wie Abb. 4 zeigt, wurden alle Unkräuter erkannt und erfolgreich bekämpft. Der Behandlungserfolg konnte insgesamt mit 100% angegeben werden.

Abbildung 5 stellt den Einsparungseffekt für diesen Versuch dar und verdeutlicht die Funktion des Systems: Im oberen Bereich der Graphik sind die Ein- und Ausschaltzeiten der Magnetventile aufgetragen. Im unteren Bereich wird der Volumendurchfluß einer konventionellen, gleichmäßig arbeitenden Teilbreite mit dem der sensorbestückten Teilbreite verglichen. Je nach Unkrautverteilung und Unkrautbesatz auf dem Feld sind mehr oder weniger Ventile geöffnet; der Verbrauch an Spritzmitteln ist entsprechend höher oder niedriger.

Setzt man den Durchfluß der konventionell arbeitenden Teilbreite als 100%, so lassen sich im Verlauf der Versuchsfahrt Einsparungen zwischen 10 und 90% ablesen. Die mittlere Einsparung an Spritzbrühe durch Einsatz des optoelektronischen Systems 'Detectspray' lag für alle Meßfahrten dieses Versuchs zwischen 30 und 70%.

WEITERENTWICKLUNG DES SYSTEMS 'DETECTSPRAY'

Das System 'Detectspray' weist in vielfacher Hinsicht Verbesserungsmöglichkeiten auf. Einige Positionen seien hier kurz vorgestellt:

1. Anpassung an die Fahrgeschwindigkeit

Die Anpassung an die Fahrgeschwindigkeit erfolgt bisher durch Veränderung des Abstandes zwischen Spritzsensor und Magnetventil mit Spritzdüse, da die Programmlaufzeit vom Erkennen eines Grünanteils im Sensorsichtfeld bis zur Abgabe des Spritzimpulses an das Magnetventil konstant ist. Dies bedeutet zum einen, daß bei einem einmal eingestellten Abstand für eine gewählte Fahrgeschwindigkeit diese genau eingehalten werden muß, da sich sonst das Spritzfeld nicht mehr mit dem Sichtfeld deckt, zum anderen, daß eine relativ aufwendige konstruktive Veränderung am Spritzgestänge erforderlich ist, um dieses für den Transport weiterhin zusammenklappen zu können.

Verbesserung: Durch die Verwendung eines handelsüblichen Radarsensors wird die aktuelle Fahrgeschwindigkeit ermittelt und an die Spritzsensoren übermittelt. Der Spritzzeitpunkt wird dann so gesteuert, daß zu jeder Zeit das Spritzfeld über dem Sichtfeld liegt. Somit können auch Spritzsensor und Magnetventil mit Spritzdüse zu einer kompakten Einheit zusammengefaßt werden, die das Zusammenklappen nicht mehr behindert.

2. Anpassung an Vertikalschwingungen des Spritzgestänges

Trotz Pendelausgleich oder – bei größeren Feldspritzen – auch Abstütungen an den Enden des Gestänges treten bei der Fahrt über das Feld Vertikalschwingungen auf, die dazu führen, daß der anfangs gewählte Schwellenwert für den Spritzvorgang (Grünanteil im Sichtfeld des Spritzsensors = Unkrautgröße) bei einem bestimmten Sollabstand zwischen Sensor und Boden nicht mehr stimmt. Schwingt der Spritzbalken vom Boden weg, so vergrößert sich das Sichtfeld des Spritzsensors und der eingestellte Schwellenwert müßte verkleinert werden, um einen Spritzimpuls auszulösen. Schwingt der Spritzbalken zum Boden hin, so verkleinert sich das Sichtfeld und der Schwellenwert müßte vergrößert werden.

Verbesserung: Am Spritzgestänge wird ein Inklinometer (Neigungswinkelmesser) angebracht, das den Winkel der vertikalen Auslenkung ermittelt. Dieser wird an die Spritzsensoren übermittelt, die dann den anfangs eingestellten Schwellenwert entsprechend korrigieren.

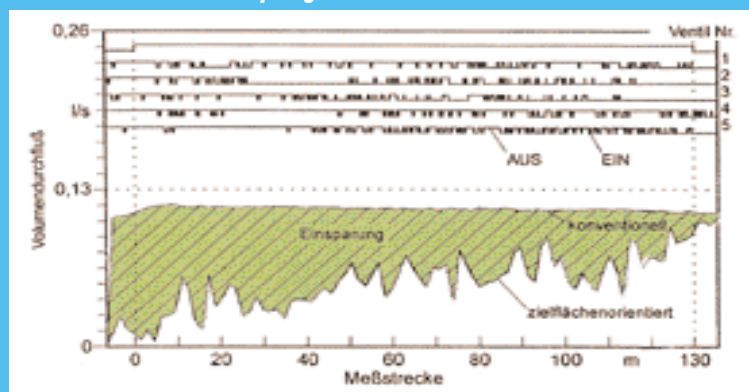
3. Unterscheidung von Nutzpflanzen und Unkräutern

Für einen Einsatz des Systems auch nach dem Aufgang der Nutzpflanze ist eine On-line Pflanzenunterscheidung notwendig. Dies ist mit den bisher verwendeten Sensoren nur in sehr wenigen Fällen möglich und beim bisherigen System auch nicht vorgesehen.

Verbesserung: Durch Verwendung beispielsweise von einem Mini-Spektrometer können die Reflexionskurven verschiedener Pflanzen aufgenommen und diese damit differenziert

werden, falls sich deutliche Unterschiede zeigen. Da diese Lösung aufgrund der hohen Kosten nicht für einen Praxiseinsatz geeignet ist, wurde ein Spritzsensor aufgebaut, welcher die Reflexionswerte in mehr als zwei Wellenlängenbereichen empfängt. Durch dieses 'Mehr an Information' ist zwar nur die Unterscheidung von einigen Nutzpflanzen und einigen Unkräutern möglich, jedoch wäre es ein Schritt in die richtige Richtung, wenn einige Problemunkräuter von einigen Nutzpflanzen unterschieden werden können, um diese dann gezielt im Bestand zu bekämpfen.

Abb. 5: Einschaltzeiten der Magnetventile und Verbrauch an Spritzbrühe konventionell und zielflächenorientiert (Grün: Herbizideinsparung bei zielflächenorientierter Bekämpfung)



AUSBLICK

Die hier vorgestellte Forschungsarbeit leistet einen Beitrag zur leistungsfähigen und zugleich umweltschonenden Pflanzenproduktion. Die Zukunft bei der chemischen Unkrautbekämpfung heißt: „Pflanzenunterscheidung und gezielte Applikation von Herbiziden“. Mit Hilfe eines weiterentwickelten Sensors ist es uns bereits gelungen, einige Pflanzen im Labor On-line unterscheiden zu können. Wenn sich dieser Ansatz so weit verbessern läßt, daß er auch Eingang in die Praxis findet, sind wir der Zukunft einen großen Schritt näher gekommen. ■

Dr.-Ing. Rainer H. Biller, FAL, Institut für Betriebstechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig