

Gerhard Wartenberg und Helmut Schmidt, Potsdam-Bornim

# Fotooptische Sensoren

## Eine Alternative für die Unkrautererkennung

*Unterschiede der Unkrautverteilung ermöglichen es, den üblichen Herbizidaufwand durch teilflächenspezifisches Spritzen bis zu 70% zu reduzieren [1]. Bei den gegenwärtigen Herbizidkosten ist mit Einsparungen von etwa 80 DM/ha zu rechnen. Hierbei können Spritzmittel jedoch nur soweit verringert werden, dass sich im Zusammenwirken mit der Konkurrenzwirkung des Kulturpflanzenbestandes die Samenproduktion der Restverunkrautung weitgehend unterbinden lässt. Der erreichbare Einspareffekt hängt vor allem von der Intensität der Unkrauterfassung ab. Die Entwicklung kostengünstiger Unkrauterkenntungsverfahren ist von großer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des teilflächenspezifischen Spritzens [2].*

Dr.-Ing. Gerhard Wartenberg ist Mitarbeiter in der Abteilung Technik im Pflanzenbau im Institut für Agrartechnik Bornim (Wiss. Dir.: Prof. Dr.-Ing. J. Zaske), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam; e-mail: gwartenberg@atb-potsdam.de  
Dipl.-Ing. Helmut Schmidt ist wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter in der gleichen Abteilung.

### Schlüsselwörter

Fotooptischer Sensor, teilflächenspezifische Bewirtschaftung

### Keywords

Optoelectronic sensor, precision agriculture

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99625 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Weiterreichende Untersuchungen mit multispektral aufzeichnenden Fotometern weisen darauf hin, dass mit diesem Messprinzip auch die artenspezifische Klassifizierung von Pflanzen gelingen kann [7].

### Anwendungsvoraussetzungen für die Spektrometrie

Für die Entwicklung kostengünstiger Unkrauterkenntungsverfahren ist es von Interesse, ob sich aus einfach zu ermittelnden Parametern, etwa der Unkrauthäufigkeit und des Deckungsgrades, pflanzenbaulich gerechtfertigte Bewertungskriterien für den differenzierten Herbizideinsatz ableiten lassen. Der potentielle Ertragsverlust eines einzelnen Unkrauts in Folge der artenspezifischen Konkurrenz variiert je nach Art und Standortbedingungen zwischen 1 bis 15 kg/ha [8]. Großflächige Erhebungen zeigen, dass feldspezifische Unkrautgesellschaften meist aus vier bis sechs Leitunkräutern bestehen, die etwa 80% der Gesamtanzahl ausmachen. Weitere acht bis zehn Arten ergänzen die Unkrautgesellschaft bei örtlich sehr sporadischem Vorkommen. Spritzentscheidungen für die teilflächenspezifisch differenzierte Herbizidanwendung sollen auf der Grundlage des berechneten Ertragsverlustes nach Schwellenwerten getroffen werden. Die Schwellensetzung orientiert sich an Kosten-Nutzungsverhältnissen und Gesichtspunkten der Reproduktionsdynamik von Unkräutern. In Versuchen wurden bisher zwei Anwendungskonzepte erprobt. Bei hoher Boniturdichte, also einem geringem Abbildungsfehler der räumlichen Unkrautverteilung wird unterhalb einer gesetzten Schwelle nicht und darüber die volle Aufwandmenge appliziert. Diese Verfahrensweise ist etwa in Weizen anwendbar, wenn Bestandesdichten über

In der Verfahrensentwicklung zum automatisierten Erkennen von Unkräutern sind momentan zwei Lösungswege zu erkennen. Zum einen ermöglichen Bildverarbeitungssysteme die artenspezifische Klassifizierung der aufgenommenen Objekte nach Formparametern. Diese werden mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden ausgewertet [3]. Durch den parallelen Einsatz dieses Boniturverfahrens mit einem Ortungssystem lassen sich Karten mit schadensschwellenbezogenen Spritzentscheidungen fertigen. Wie bei jedem Boniturverfahren ist auch hier die Übertragungsgenauigkeit vom Abstand der einzelnen Boniturspuren abhängig. Die weitere Entwicklung ist auf eine kurzfristige Praxisanwendung gerichtet [4].

Zum anderen ist die fotooptische Detektion ein weiteres aussichtsreiches Verfahren für das Schätzen der Verunkrautungsintensität. Entsprechende Sensoren sind bereits in zurückliegenden Jahren für die gezielte Beseitigung von Pflanzenbewuchs auf abgeernteten Feldern, Bahnanlagen und öffentlichen Flächen unter den Produktnamen „Selectspray“ und „Weedseeker“ zum Einsatz gelangt [5, 6]. Durch Reflexionsspektrometrie lassen sich bei der Auswertung von zwei Wellenlängen (Rot und nahes Infrarot) aktive Pflanzen vom Hintergrund unterscheiden.

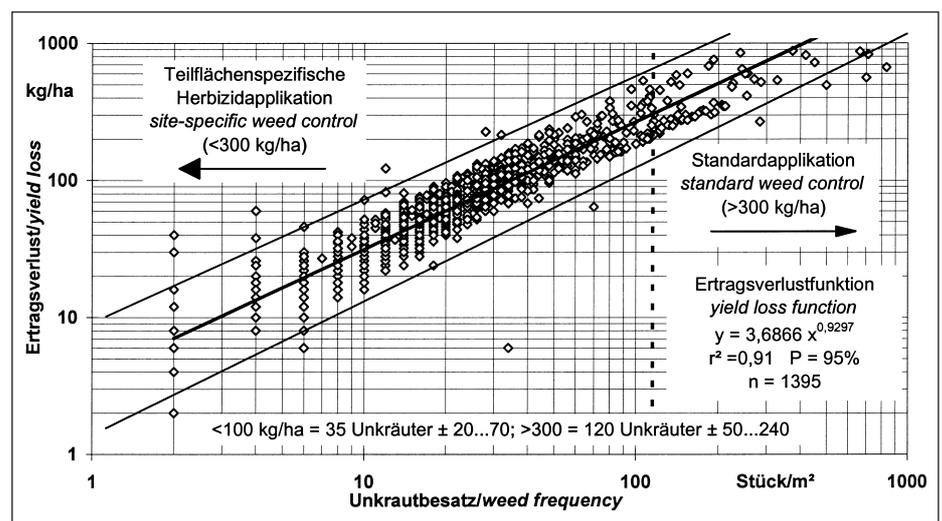


Bild 1: Abhängigkeit des Ertragsverlustes von der Unkrauthäufigkeit in W.- Weizen

Fig. 1: Yield loss of winter wheat, depending on weed frequency

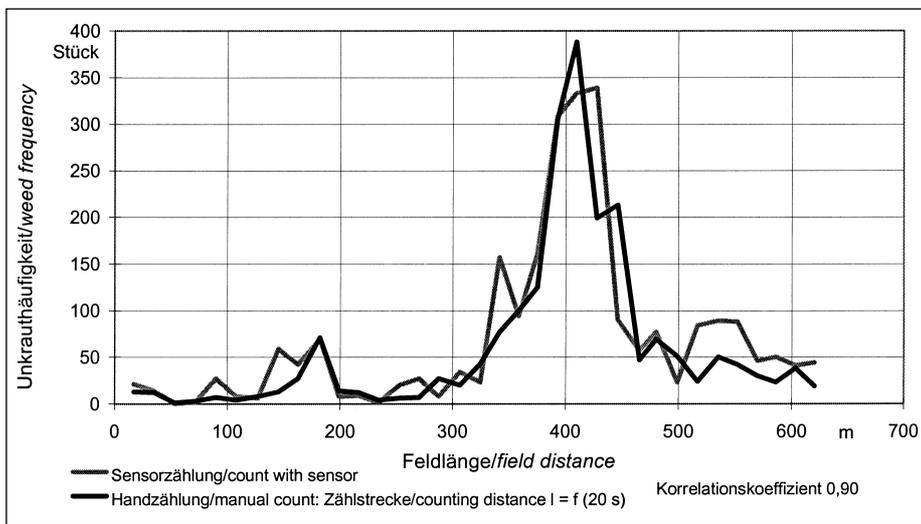


Bild 2: Vergleich des Unkrautauftommens zwischen Hand- und Sensorzählung in Mais

Fig. 2: Comparison of the weed infestation between hand and sensor count

600 Halme/m<sup>2</sup> vorliegen. Bei größeren Boniturrastern, die eine ungenauere Abbildung der Unkrautverteilung ergeben, und Pflanzenbeständen mit geringerer Halmdichte sollte unterhalb der Schadensschwelle zur Kontrolle der Restverunkrautung immer die halbe Aufwandmenge gespritzt werden [2].

Durch das dominante Auftreten weniger Unkrautarten ist trotz erheblicher kleinflächiger Häufigkeitsunterschiede ein verwertbarer Zusammenhang zwischen der Unkrauthäufigkeit und dem Ertragsverlust erkennbar. Aus mehrjährigen Unkrautzählungen, die für teilflächenspezifische Spritzentscheidungen ermittelt wurden, lässt sich eine korrelative Beziehung zwischen Unkrauthäufigkeit und Ertragsverlust nachweisen (Bild 1).

Dieser Zusammenhang kann für die näherungsweise Bewertung der Schadenswirkung des Unkrauts anhand der beispielsweise mit fotoptischen Sensoren detektierten Häufigkeitsverteilung Verwendung finden. Wird die berechnete Funktion für das Setzen von Schadensschwellen herangezogen, ist mit einer Standardabweichung des Schätzfehlers des Ertragsverlustes von  $\pm 57\%$  zu rechnen. Aus wirtschaftlicher Sicht bedeutet das für die Schadensschwelle von 50 Unkräutern/m<sup>2</sup> ein Fehlentscheidungsbereich von  $\pm 15$  bis 20 DM/ha. Die Größe des Fehlers erscheint hoch. Jedoch relativiert sich dieser im Vergleich zur alternativen Stichprobenkartierung. Aufgrund der kleinflächigen Variabilität von Unkrautverteilungen entstehen hier bei der Übertragung von exakt berechneten Boniturergebnissen auf adäquate Teilflächen, die sich aus der Arbeitsbreite von Feldspritzen ergeben, erhebliche Fehler. Werden etwa statt 25 Zählungen/ha nur fünf Stichproben/ha ermittelt, ist mit einem relativen Anstieg der Fehlentscheidungen um 25% zu rechnen [9]. Aus stichprobengestützten Unkrautschätzungen sollten demzufolge nur tendenzielle Anwendungsentscheidungen abgeleitet werden, denen eine Klas-

sierung in stark, mittel und niedrig verunkrautete Teilflächen zugrunde liegt.

### Unkrautzählung mit fotoptischem Sensor

Für den Sensoreinsatz im Getreide sind zwei Unkrautszenarien spritzrelevant. In diesen dominieren zum Herbst-Spritztermin kleine Unkräuter vom Keimblatt- bis zum ersten Laubblattstadium. Zum Anwendungstermin im Frühjahr tritt eine zunehmende Differenzierung der Unkrautgesellschaft durch neu auflaufende Individuen ein. Neben Pflanzen im Keimblattstadium herrschen Arten mit vorangeschrittener Entwicklung vor, gekennzeichnet durch mehrere Laubblattrossetten oder Sprossachsenverzweigungen. Hinweise zum Artenvorkommen lassen sich in diesem Entwicklungszustand wahrscheinlich auch aus der Größenverteilung der Unkräuter ableiten. Demzufolge sollte der Unkrautsensor das Erfassen einzelner Unkräuter und eine Größenklassierung ermöglichen. Die zu detektierende Projektionsfläche von Schadgräsern (Monokotyle) beginnt in Folge des aufrecht stehenden Keimblatts bei etwa 1 mm<sup>2</sup>, zweikeimblättrige Unkräuter (Dikotyle) erreichen im Durchschnitt etwa 1 bis 3 cm<sup>2</sup>.

Das Messprinzip von „Grünsensoren“ beruht auf dem pflanzeigenen Phänomen der selektiven Absorption roter (R) und hohen Reflexion nahinfraroter Anteile (NIR) des Sonnenspektrums. Stabile korrelative Beziehungen zwischen Pflanzenbestand und spektralen Größen sind besonders durch die Ausbildung eines Reflexionsminimums zwischen 630 bis 700 nm und des Reflexionsmaximums oberhalb von 780 bis 1200 nm gegeben [10]. In anfänglichen Entwicklungsstadien der Pflanzen bestehen gut gesicherte Korrelationen zur vorhandenen Blattoberfläche und näherungsweise der Biomasse. Die Quotientenbildung aus der Rotreflexion und NIR-Rückstrahlung ergibt

einen Vegetationsindex NDVI, der die maximale Spreizung des Reflexionssignals zwischen Pflanzen und Untergrund beschreibt [11]:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

In der Literatur angegebene Werte tendieren für Boden zwischen 1,3 bis 1,5 und Pflanzen zwischen 6 bis 11 [1, 10].

### Praxisuntersuchungen

In landwirtschaftlichen Kulturen besteht die Möglichkeit, die Reflexionsspektrometrie mit Hilfe visueller Flächensensoren in Reihenzwischenräumen oder Spurbereichen ohne Kulturpflanzenbewuchs anzuwenden. Getreideflächen mit üblichen Reihenabständen zwischen 12 bis 18 cm scheiden für die Detektion der Verunkrautungsintensität aus. Dieses auf Grund von Überdeckungen der Unkräuter durch Kulturpflanzen und zu erwartender Führungungenauigkeiten des Sensors. Realisierbare Verfahrenslösungen für den reihengebundenen Einsatz von Fotosensoren ergeben sich, wenn die regelmäßige Anlage von Fahrspuren, im Mittel mindestens 24 bis 36 cm breit, zur Düngung und Pflege erfolgt.

Für die Erfassung von Unkräutern im Keimblattstadium in Getreidearten und Mais werden acht Fotodiodenpaare verwendet, die quer zur Fahrtrichtung auf einem Streifen von 22 mm kontinuierlich das Unkrautvorkommen detektieren. Jeweils zwei Dioden erfassen den gleichen Bildpunkt in den Wellenlängenbereichen 650 nm und 830 nm. Aus den Spannungen beider Dioden wird der Quotient gebildet. Wenn dieser eine vorgegebene Schwelle überschreitet, gilt das Signal als grün. Bei maximaler Fahrgeschwindigkeit der Spritze erscheint beispielsweise eine 5 mm große Pflanze 1 ms vor der Optik des Sensors. Zum sicheren Bestimmen der Größe kleinerer Pflanzen, ist eine Abtastrate von 10000 Abtastungen pro Sekunde erforderlich. Das Erkennen kleiner Pflanzen im Millimeterbereich wird durch die Maschinenschwingungen erschwert. Die Messwert-erfassung und -verarbeitung erfolgt mit Universalmeßgeräten.

Verschiedene Untersuchungen zur Detektion des Unkrautvorkommens in Winter- und Sommergetreide sowie Mais ergaben Korrelationskoeffizienten zwischen den Sensor- und Handzählungen von 0,6 bis 0,9 (Bild 2).

Aus den bisher vorliegenden Ergebnissen lässt sich ableiten, dass besonders zur Erkennungssicherheit unter wechselnden Boden- und Umgebungsbedingungen, zur Anpassung der Signalinterpretation in Abhängigkeit von der Pflanzenform sowie zur Signalauswertung weitere Grundlagenarbeiten erforderlich sind.