

Markus Sökefeld und Roland Gerhards, Bonn

# Automatische Unkrautkartierung mit digitaler Bildverarbeitung

Mit der digitalen Bildanalyse ist die automatische Erkennung von Unkräutern möglich. Das vorgestellte System verwendet zur Bildaufnahme ein mobiles Kamerasystem, mit dem gleichzeitig zwei geokodierte Bilder in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen aufgenommen und miteinander verrechnet werden. Eine Vorverarbeitung der Bilder reduziert den Bildinhalt auf die äußere Kontur der Pflanzen. Zur wissensbasierten Klassifizierung auf Basis von multivarianten Parametern werden Mustererkennungsverfahren verwendet. Die Klassifikationsergebnisse dienen der Berechnung von Unkrautverteilungskarten. Die durchschnittliche Erkennungsrate bei einer Differenzierung in fünf Unkrautklassen lag bei 80 %.

Dr. Markus Sökefeld ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nußallee 5, D-53115 Bonn; e-mail: [m.soekfeld@uni-bonn.de](mailto:m.soekfeld@uni-bonn.de)  
 PD Dr. habil Roland Gerhards ist Oberassistent am Institut für Pflanzenbau der Universität Bonn.

## Schlüsselwörter

Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle, Unkrautkartierung, Bildanalyse

## Keywords

Site-specific weed control, weed mapping, image analysis

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 04312 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Eine Anpassung der Herbizidapplikation an die heterogene Verteilung der Unkräuter auf Ackerschlägen ermöglicht eine erhebliche Herbizideinsparung, senkt die Produktionskosten und vermindert die Umweltbelastung. Voraussetzung für eine teilschlagspezifische Unkrautkontrolle sind Kenntnisse über Art und Menge der Verunkrautung an jeder Position im Feld. Hierzu sind Systeme notwendig, die Unkräuter schnell, automatisch und kostengünstig erkennen und unterscheiden können.

Eine Möglichkeit zur Erfassung der Unkrautsituation auf Ackerschlägen besteht in der Verwendung von Kameras mit nachgeschalteter Bildauswertung in Verbindung mit Ortungs- und Geoinformationssystemen zur visuellen Darstellung der Geodaten in Form von Unkrautverteilungskarten [1, 2, 3].

## Bildaufnahme

Für die Bildaufnahme wurde der Reflexionsunterschied von vitalem Pflanzenmaterial und Boden im sichtbaren und nahen Infrarot Spektrum genutzt [4]. Um diesen Effekt für die Bildaufnahme zu verwenden, wurde ein bispektrales Kamerasystem entwickelt. Die Hauptbestandteile dieser Kamera sind zwei Monochromkameraköpfe, welche so in einer Kameragehäuse montiert sind, dass mit einer Aufnahme zwei pixelkongruente Bilder einer Szene mit unterschiedlichen Wellenlängen aufgenommen werden. Hierzu ist vor der Optik der beiden Kameraköpfe ein Kaltlichtspiegel angebracht, der das einfallende Licht in einen infraroten und einen sichtbaren Wellenlängenbereich teilt. Der Infrarot Anteil wird direkt auf einen Kamerakopf projiziert. Über auswechselbare Filter wird der Wellenlängenbereich für das zweite Bild festgelegt. Beide Bilder werden über ein nachgeschaltetes EPROM online berechnet und als einzelnes, kombiniertes Bild an den Framegrabber eines PCs weitergeleitet (Bild 1). Drei dieser Kamerasysteme sind im Abstand von jeweils drei Metern an einem Trägerfahrzeug rund 1,5 m über dem Boden befestigt. Bei einer geometrischen Auflösung der Kameras von 750 • 580 Pixel wird bei der angegebenen Aufnahmehöhe ein Bildausschnitt von etwa 55 • 42 cm reali-

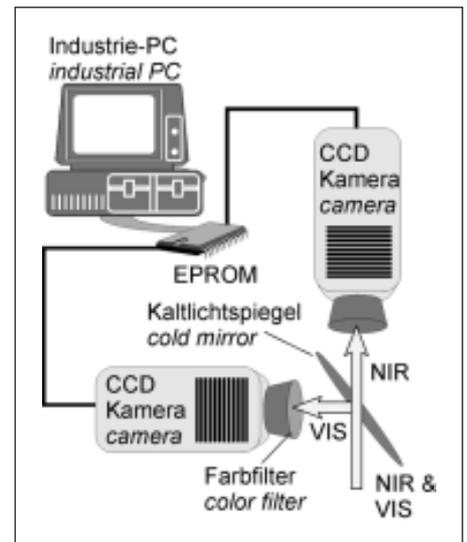


Bild 1: Funktionsprinzip eines bispektralen Kamerasystems zur pixelkongruenten Aufnahme von zwei Bildern in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen

Fig. 1: Principle of bispectral camera system for the pixel congruent acquisition of two images in different spectral bands

siert. Die Aufnahmefrequenz beträgt etwa eine Bildsequenz (drei Bilder) pro Sekunde, so dass bei einer Vorfahrtsgeschwindigkeit von ~ 7 km/h etwa alle 2 m pro Kamera ein Bild aufgenommen und mit den zugehörigen GPS-Daten gespeichert wird. Durch eine automatische, an die Aufnahmebedingungen angepasste Gain- und Shutterregelung werden auch bei der genannten Vorfahrtsgeschwindigkeit und bei durch die Witterung wechselnde Aufnahmebedingungen konturscharfe und kontrastreiche Bilder erzeugt. Diese Grauwertbilder werden auf der Festplatte des Bordrechners gespeichert oder auf einem zweiten Rechner parallel zur Bildaufnahme ausgewertet.

## Bildverarbeitung und -auswertung

Das Prinzip der Bildauswertung besteht in einer wissensbasierten Mustererkennung, es werden charakteristische Merkmale von bekannten Pflanzen extrahiert und zum Vergleich mit unbekanntem Pflanzen in einer Datenbank gespeichert.

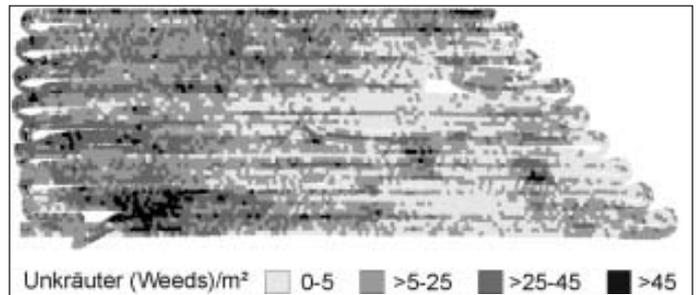
Im ersten Verarbeitungsschritt werden die Grauwertbilder durch eine Analyse des Grauwertistogrammes und einer darauf beruhenden Schwellenwertoperation in die Bestandteile Boden und Pflanze getrennt. Aus dem so erhaltenen Binärbild werden die Konturen der Pflanzen mit einem objektorientierten Verfahren extrahiert. Aufgrund der Extraktionsvorschrift ist die Geschlossenheit der Konturen gewährleistet [5]. Anhand der Konturlänge können eventuell auftretende Störungen beseitigt werden. Die verbleibenden Konturen werden im Uhrzeigersinn in kettencodierter Form beschrieben. Der für die äußere Kontur einer Pflanze charakteristische Kettencode besteht aus einer Abfolge von Einheitsvektoren, die den Konturverlauf von Pixel zu Pixel beschreiben. Die Abfolge und Anzahl der Kettenelemente ist abhängig von Größe, Drehung und Position der Pflanze in der Bildvorlage sowie dem Startpunkt der Codierung.

Um invariante Parameter bezüglich der genannten Größen zu erhalten, wird der Kettencode als Winkelfunktion dargestellt; auf der Abszisse ist die Länge der Konturabschnitte, auf der Ordinate die Winkeländerung im Vergleich zum Startwinkel abgetragen. Aufgrund dieser Approximation wird eine Invarianz bezüglich Rotation und Translation der Objekte im Bild erreicht. Durch die anschließende Normierung des Definitionsbereich der Winkelfunktion auf das Intervall  $(0, 2\pi)$  wird eine weitgehende Größeninvarianz erzeugt. Die normierte Winkelfunktion wird einer Fourierreihenentwicklung unterworfen, die gewonnenen Amplitudenwerte (Fourierdeskriptoren) der verwendeten Funktionen (Sinus oder Kosinus) sind für den Funktionsverlauf spezifisch und vom Startpunkt der Kettenkodierung unabhängig. Zur weiteren Charakterisierung der Pflanzen werden die Kompaktheit, berechnet aus dem Verhältnis von Umfang zu Fläche, sowie der Quotient aus minimaler und maximaler Spannweite bestimmt. Nun stehen numerische Werte zur Verfügung, die den Habitus einer Pflanze unabhängig von Größe, Rotation und Translation beschreiben. Diese Parameter werden für eine Auswahl an Pflanzenarten in einer Datenbank (Wissensbasis) abgelegt und können so für einen wissensbasierten Vergleich mit unbekanntem Pflanzen verwendet werden.

Die Klassifizierung von unbekanntem Pflanzen erfolgt auf Grundlage der Wissensbasis mit Hilfe der euklidischen Metrik.

Die geometrischen Parameter werden mit Hilfe eines direkten Vergleiches ausgewertet. Alle beschriebenen Merkmale können für die Auswertung gewichtet werden, so dass der Erklärungsanteil der einzelnen Parameter für die Identifikation einer Pflanze

*Bild 2: Automatisch erzeugte Unkrautverteilungskarte für eine Unkrautklasse*



*Fig. 2: Automatically generated weed distribution map for one weed class*

sehr unterschiedlich sein kann (Erkennungsstrategie).

Als Ergebnis der Klassifikation einer Bildserie erhält man für jedes ausgewertete Bild Informationen über Art, Anzahl und überdeckte Fläche der Verunkrautung sowie Anzahl und überdeckte Fläche der Kulturpflanze. Die Ergebnisse werden zusammen mit den geographischen Koordinaten in einer Tabelle gespeichert. Diese Tabelle bildet die Datenbasis für die graphische Darstellung der Unkrautverteilung als Karte.

### Unkrautverteilungskarten

Aus den Werten der Klassifikationstabelle werden mit Hilfe einer Kartierungssoftware Unkrautverteilungskarten entwickelt. Nach dem Einlesen der Daten aus der Unkrauterkenntnis und einer Schwellenwertsetzung zwecks einer Einteilung in Unkrautdichteklassen werden die Unkrautverteilungskarten automatisch erzeugt. Abweichend von früheren Arbeiten [6, 7] wird zwischen den einzelnen Messwerten keine Interpolation durchgeführt. Aufgrund der hohen Aufnahmedichte wird jeder durch die Unkrauterkenntnis ermittelte Wert eines Bildes als repräsentativ für eine Fläche von  $\sim 3 \cdot 2$  m angesehen; diese Fläche ergibt sich aus der Vorfahrtsgeschwindigkeit bei der Aufnahme und dem Abstand zwischen den Kameras (*Bild 2*).

### Ergebnisse und Diskussion

Mit der dargestellten Kameratechnik wurden qualitativ hochwertige Aufnahmen erzeugt, die weitgehend frei von Störungen waren. Steine oder abgestorbenes organisches Material wie Stroh und Wurzelreste wurden durch die verwendete Aufnahmetechnik in den Bildern nicht abgebildet. Dadurch wurden bei der Bildauswertung nur die relevanten Pflanzen berücksichtigt. Für das Schreiben einer Bildsequenz (3 Bilder) auf die Festplatte sowie die anschließende Auswertung wurde etwa 1 s benötigt; bei einer Fahrgeschwindigkeit von 7 km/h wurden nach jeweils 2 m eine Bildsequenz aufgenommen. Bei dem oben angegebenen Abstand zwischen den Kameras und der aufgenommenen Fläche pro Kamera ergab sich eine Aufnahmefläche von 7,7 % der Gesamtfläche. Dieser Flächenanteil ist für eine repräsentative Kartierung ausreichend, so

dass die gewonnenen Daten der Unkrautverteilung ohne den Einsatz von Interpolationsverfahren als Karte dargestellt wurden (*Bild 2*). Unter Verwendung von Schwellenwerten und einer Überlagerung von Verteilungskarten mehrerer Unkrautklassen können die Daten der automatischen Bildauswertung für eine teilschlagspezifische Unkrautkontrolle verwendet werden. Bei einer schnellen Auswertung der Bilder und einem ausreichenden Abstand zwischen Bildaufnahme und Aktor (Düse der Pflanzenschutzspritze) ist es auch denkbar, eine online Unkrautkontrolle auf Basis der automatischen Unkrauterkenntnis durchzuführen.

Neben der benötigten Zeit für die Unkrauterkenntnis und dem Stichprobenumfang der Unkrautbonitur ist ein wesentlicher Faktor für die Funktionsfähigkeit eines solchen Systems die Zuverlässigkeit und die Genauigkeit der Unkrauterkenntnis. Zur Bestimmung der Klassifikationsgenauigkeit wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem anhand von im Freiland aufgenommenen Unkrautpflanzen die Erkennungsraten in Abhängigkeit von variierenden Erkennungsstrategien ermittelt wurden. Grundlage für die Erkennung war eine Wissensbasis mit 25 Unkrautarten im Keimblattstadium mit einer Individuenanzahl von etwa 40 Pflanzen pro Unkrautart. Weitere, rund 2500 Pflanzenbilder, die nicht in der Wissensbasis enthalten waren, wurden für die Klassifikation benötigt. Unter Verwendung der optimalen Erkennungsstrategie wurde eine über die 25 Arten gemittelte Erkennungsrate von 70 % erreicht, wobei die Spannweite der Erkennungsrate zwischen 44 und 100 % lag. Bei der Verwendung einer bildanalytischen Unkrauterkenntnis zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle steht nicht die Erkennung und Unterscheidung von einzelnen Unkrautarten im Vordergrund, sondern Unkrautgruppen mit ähnlicher Empfindlichkeit gegenüber einem Herbizid oder Herbizidodosis müssen unterschieden werden. Nach einer solchen praxisrelevanten Unterteilung der 25 Unkrautarten in fünf Unkrautklassen wurden eine mittlere Erkennungsrate von 80 % erreicht, die Spannweite der Klassifikation lag zwischen 67 und 93 %. Weitere Untersuchungen, auch im Freiland, sind für eine Verifizierung der Ergebnisse notwendig und geplant.