

Rainer Keicher und Hermann Seufert, Gießen, Hermann Knechtges und David Brunner, Nürtingen

Lenkungsautomatisierung zur mechanischen Unkrautbekämpfung

Ein Versuchsträger wurde mit einem automatischen Lenksystem ausgestattet [3] und in Verbindung mit einer Maishacke auf einem 4 ha großen Versuchsfeld erprobt. Die Auszählung ausgehackter Maispflanzen ergab keine erhöhten Ausfälle im Vergleich zur manuell gelenkten Variante. Da die Werkzeugabstände der Hackmaschine auf 9,5 cm eingestellt waren, ist von einer Genauigkeit der Lenkeinrichtung von ± 5 cm (gemessen am Hackrahmen) auszugehen. Von der prinzipiellen Eignung der Grün-Rot-Farbdifferenz als Eingangssignal sowie der Eignung des Algorithmus kann bei 90 % korrekt berechneten Leitlinien ausgegangen werden.

Prof. Dr. Hermann Seufert ist Leiter des Instituts für Landtechnik, Braugasse 7, 35390 Gießen; Dipl.-Ing. agr. (FH) Rainer Keicher ist Mitarbeiter am Institut für Landtechnik in Gießen und beschäftigt sich dort mit den Themen Lenkungsautomatisierung und Bildverarbeitung; e-mail: rainer.keicher@agr.uni-giessen.de
 Prof. Dr.-Ing. Hermann Knechtges vertritt das Lehrgebiet Landtechnik und Physik an der FH Nürtingen. Cand. agr. David Brunner ist Diplomanand am Institut für Technik der FH Nürtingen.

Schlüsselwörter

Lenkungsautomatisierung, Bildverarbeitung, mechanische Unkrautregulierung

Keywords

Automatic guidance, image processing, mechanical weeding

Der Kulturpflanzenanbau erfordert neben der Wasser- und Nährstoffversorgung auch eine angemessene Bestandespflege. Ohne regulierende Eingriffe kommt es zu einer ausgeprägten Konkurrenz um die zum Wachstum notwendigen Ressourcen. Die chemische Unkrautregulierung steht bei der zunehmend sensibilisierten Gesellschaft wegen der Grundwassergefährdung in der Kritik. Daraus resultieren einschränkende Auflagen in Wasserschutzgebieten genauso wie steigende Preise für die eingesetzten Mittel. Diese ökonomischen Zwänge führen heute wieder zu einer steigenden Attraktivität der mechanischen Unkrautregulierung, da die Herbizide von den in der Landwirtschaft eingesetzten Pflanzenschutzmitteln das größte Einsparungspotenzial bieten [1].

Das Hauptproblem bei der reihenbezogenen mechanischen Unkrautregulierung ist, neben dem gewählten Zeitpunkt, die aufgrund der Aussaattechnik eingeschränkte Arbeitsbreite sowie die aufgrund der erforderlichen genauen Durchfahrt des Bestandes geringe Arbeitsgeschwindigkeit. Wettbewerbsfähigkeit erreichen mechanische Maßnahmen über eine signifikante Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit. Da es für den/die Fahrer/in aber auf Dauer sehr anstrengend ist, ein mechanisches Hackgerät im Front-, Zwischenachs- oder Heckanbau mit 8 km/h durch ein Getreide-, Mais- oder Rübenfeld zu steuern, ohne den Bestand zu schädigen, ist eine automatische Steuerung wünschenswert. Mit dieser können auch noch höhere

Arbeitsgeschwindigkeiten ohne Folgeschäden realisiert werden.

Berührungslose Leitlinienerkennung

Nachführungssysteme mit taktilem Sensorik sind vor allem bei Hackfruchterntemaschinen eingeführt, ihre Anwendung erfordert jedoch eine belastbare Pflanzenreihe, die bei Hackarbeiten nicht vorliegt. Die berührungslose Erfassung realer Leitlinien ist weltweit Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten. Im Gegensatz zu Systemen, die auf virtuelle Leitlinien wie digitale Landkarten in Verbindung mit Satellitenortung zurückgreifen, ermöglichen auf realen Leitlinien basierende Lenksysteme eine bestandesbezogene Geräte- oder Fahrzeugführung.

Ein PC-basiertes Farbbildverarbeitungssystem, bestehend aus einer Kamera, einer Bildverarbeitungskarte (Frame Grabber) und dem Hostrechner (AMD K6/2 300), wurde auf einem Fendt Xylon 524 Versuchsträger installiert. Die Bilder, die von der Kamera eingelesen und als analoges Signal an den Frame Grabber übergeben werden, werden in Videoechtzeit diskretisiert, die Farbdifferenz zwischen dem grünen und dem roten Kanal wird gebildet und aus dieser ein Binärbild erstellt. Durch diesen Vorgang wird während des Einlesens aus einem 786 KB großen Farbbild ein 32 KB kleines Zweipegelebild mit vom Hintergrund getrennten Pflanzenreihen.

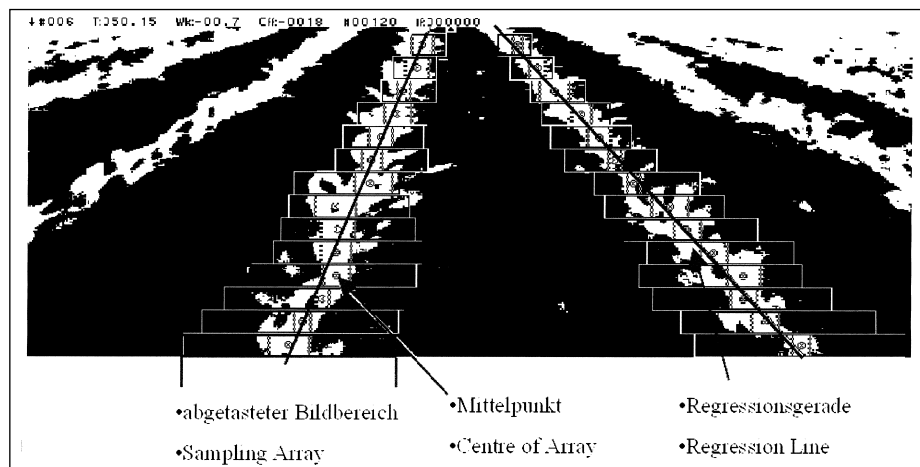


Bild 1: Leitlinienberechnung

Fig. 1: Calculation of guideline

Mit einem weiterentwickelten regressionsanalytischen Reihenverfolgungsalgorithmus [2], der in *Bild 1* verdeutlicht wird, werden die Leitlinien berechnet. Beginnend vom Reihenmittelpunkt, der, abhängig von der zu bearbeitenden Kultur, aus der Initialisierungsdatei oder, ab dem zweiten Durchlauf, vom letzten Programmzyklus bekannt ist, wird ein Array (große Rechtecke im Bild) von Bildpunkten jeweils links und rechts auf die Konzentrationsänderung weißer Bildpunkte geprüft. Vom Feld maximaler Dichte (kleine Rechtecke im Bild) wird der Mittelpunkt berechnet (Punkt im Bild). Die lineare Regression über alle grauen Punkte ergibt die Gerade, die den Reihenverlauf wiedergibt (Linie im Bild). Mit einer zweiten Pflanzenreihe wird analog verfahren, die beiden Geraden werden anschließend, nach Korrektur perspektivischer Verfälschungen, auf Parallelität geprüft. Als Ergebnis erhält man die Abweichungen der Regressionsgeraden von ihrer Sollposition und -richtung. Aus diesen beiden Größen, die auch als Offset und Heading bezeichnet werden, wird der Soll-Lenkwinkel berechnet, der benötigt wird, um das Fahrzeug nach einer definierten Strecke s wieder auf die Soll-Position zu führen.

Lenkungsregelung

Die oben beschriebene Positionsregelung stellt den äußeren Regelkreis der zur Lenkungsautomatisierung gewählten Kaskadenregelung dar. Der innere Regelkreis (Lenkwinkelregler) besteht aus dem Radwinkelgeber, dem Hostrechner (AMD 486 DX 133), dem programmierten PID-Regler sowie der AD/DA-Wandlerkarte zum Einlesen des Radwinkels und zur Ausgabe der Korrekturspannung an das verwendete Danfoss PVG 32 EM Proportionalventil. Der PID-Regler wurde unter Berücksichtigung der experimentell ermittelten Übertragungsfunktion des gegebenen Lenkungshydrauliksystems auf dem Hostrechner als Softwarelösung synthetisiert. Die Übermittlung des Soll-Lenkungswinkels vom Bildverarbeitungsrechner erfolgt über die RS 232 Schnittstelle.

Versuche – Durchführung und Dokumentation

Vom 17. bis zum 19. Juni 1999 erfolgten insgesamt 136 Überfahrten mit automatischer Lenkung auf dem 250 m • 160 m großen, mit Silomais bestellten Versuchsfeld. Der Unkrautbesatz war normal, eine chemische Unkrautbekämpfung wurde nicht durchgeführt. Die 4 ha wurden je einmal mit manuell betätigter Traktorlenkung und bis zu viermal mit dem automatischen Lenksystem durchfahren, die Bearbeitungsrichtung war Nord-

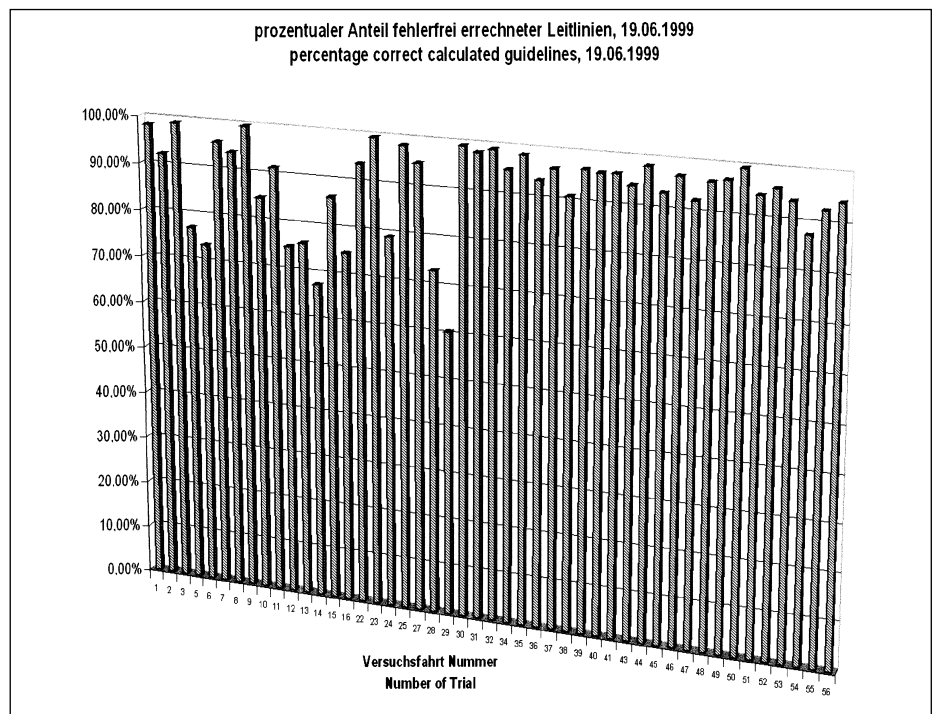


Bild 2: Auswertung Leitlinienberechnung

Fig. 2: Evaluation of guidelines

Süd. Bei der Variante mit manueller Lenkung wurde mit einer durchschnittlichen Arbeitsgeschwindigkeit von etwa 8,5 km/h gefahren, bei der automatisch gesteuerten Variante mit etwa 11,5 km/h.

Zu Beginn der Versuchsfahrten am 19. Juni 1999 gegen 10⁰⁰ Uhr war das Wetter schön, die Sonne schien an einem leicht bewölkten Himmel. Im Verlauf des Tages nahm die Bewölkung zu, die Sonne war gegen Abend überwiegend verdeckt. Der spät gesäte Mais befand sich im Sechsstadium. Bei der manuell gelenkten Variante beschränkte sich die Dokumentation auf die Abschätzung des Ertragsverlustes aufgrund ausgehackter Maispflanzen. Die Dokumentation der automatisch gelenkten Überfahrten erstreckte sich über alle während der Fahrt anfallenden relevanten Daten. Sowohl der Bildverarbeitungs- als auch der I/O-Rechner zeichneten alle Sensordaten sowie die errechneten Korrekturwerte und Ausgangswerte auf, außerdem wurde jedes zwanzigste vom Bildverarbeitungsrechner ausgewertete Binärbild inklusive der errechneten Leitlinien abgespeichert. Schon während der Bearbeitung werden die Bilder auf Gültigkeit des Binärbildes (Verhältnis Schwarz zu Weiß), Gültigkeit der errechneten Regressionsgeraden (r^2), Parallelität der errechneten Geraden und Einhalten der Bildgrenzen (Ergebnis innerhalb der zulässigen Koordinaten) überprüft. Bei fehlerhafter Bildauswertung wird ein Fehlercode gesetzt und das Bild verworfen.

Ergebnisse

Ausgewertet wurden 107 Überfahrten, und zwar nach prozentualen Anteil korrekt berechneter Leitlinienpaare, um eine Aussage über die Qualität des Leitlinienverfolgungs-

algorithmus treffen zu können. Die Auszählung ausgehackter Maispflanzen ergab keine signifikante Abweichung zwischen manueller und automatisierter Lenkung und lag insgesamt unter 1%. *Bild 2* zeigt den prozentualen Anteil korrekt errechneter Leitlinien aller am 19. Juni 1999 aufgezeichneten Versuchsfahrten, im Durchschnitt des Versuchstages lag dieser bei 90,83%.

Dass trotz annähernd 10% fehlerhafter, also nicht verwendeter Leitlinienberechnungen nicht mehr Maispflanzen ausgehackt wurden, ist auf das robuste Design des Gesamtsystems zurückzuführen. Ist ein Bild ungültig, errechnet der Algorithmus aus Fahrgeschwindigkeit und aktuellem Lenkwinkel die Ist-Position und aus Heading und Offset des letzten Bildes den anzustellenden Lenkwinkel. Erst nach zehn fehlerhaften Bildern in Folge bricht das Programm ab. Außerdem ist die Bildverarbeitungs- und Regelfrequenz mit 50 Hz ausreichend hoch, um bei der gegebenen Geschwindigkeit alle 7 cm ein neues Bild zu berechnen.

Da der Abstand der Bearbeitungswerkzeuge bei der verwendeten Maishacke 9,5 cm betrug und im normalen Betrieb keine Maispflanzen ausgehackt wurden, kann von einer Genauigkeit der automatischen Lenkung von ± 5 cm ausgegangen werden.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Agrarbericht, BML (Hrsg.), 1998
- [2] Keicher, R., H. Knechtges und H. Seufert: Bildverarbeitung zur Reihenerkennung. Landtechnik 50 (1995), H. 5, S. 288 – 290
- [3] Seufert, H., H. Knechtges, R. Keicher und W. Keicher: Automatisierung der Lenkung zur Führung von Arbeitsgeräten in Reihenkulturen mit Hilfe der Bildverarbeitung. Bericht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, AZ SE 759/3-1, 1998