

Beikrautregulierung in Reihenkulturen - Sensorgesteuerte Querhacke im Mais

A. KIELHORN, T. DZINAJ, F. GELZE, J. GRIMM, H. KLEINE-HARTLAGE, S. KLEINE HÖRSTKAMP, W. KUNTZE, A. LINZ, J. NAESCHER, M. NARDMANN, A. RUCKELSHAUSEN, D. TRAUTZ, E. WİBERODT
Fachhochschule Osnabrück, FB Agrarwissenschaften, Elektrotechnik und Informatik, Maschinenbau, Wirtschaft; Postfach 1940, 49009 Osnabrück
Email: a.kielhorn@fh-osnabrueck.de

Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Kooperation mit Amazonen-Werke, Hasbergen

Zusammenfassung

Im Ökologischen Landbau ist die Beikrautregulierung eine bedeutende Aufgabe für das Anbaumanagement, da hierdurch Erträge und Produktqualität gesichert werden können. Besonders in Reihenkulturen wie Mais ergibt sich die Problematik der Beikrautregulierung nicht nur zwischen den Reihen, sondern auch innerhalb der Reihen. Während die Regulierung zwischen den Reihen bereits hinreichend gelöst wurde, ist die Regulierung innerhalb der Reihen eine offene Frage. Eine neue Entwicklung, die auf der Kombination verschiedener Sensoren über eine Microcontroller-Hierarchie mit einer gesteuerten mechanischen Hacke beruht, wurde bereits von RUCKELSHAUSEN et al. (1999), WİBERODT et al. (1999), DZINAJ et al. (1998) angesprochen. Das Ziel hinter der Vision, mechanische Beikrautregulierung in Reihenkulturen kann erreicht werden durch die Implementierung der Sensortechnik zur Online-Pflanzenerkennung.

Stichwörter: Beikrautregulierung, Mechanik, Sensorsystem, Querhacke

Summary

Weed control in row crops – sensor-controlled transversal hoe in maize

Weed control in organic agriculture is one of the most important crop management practice for guaranteeing acceptable yield and quality of product. Especially in row culture such as maize problems with weeds arising in between and within rows. While weed control in between of rows technically is solved, weed control within rows still remains unsolved. A new approach based on the combination of sensors with different properties and a microcontroller hierarchy connected with controled mechanical hoe has been recently developed and applied (RUCKELSHAUSEN et al. 1999, WİBERODT et al. 1999, DZINAJ et al. 1998). The aim behind the vision, controlling weeds mechanically within row cultures can be achieved by implementing sensor technique for online culture/weed detection.

Keywords: Weed control, mechanic, sensor-system, transversal hoe

Einleitung

Konventionelle Verfahren der mechanischen Beikrautregulierung sind durch den Mangel behaftet, keine direkte Wirkung auf das Beikrautaufkommen innerhalb von Pflanzenreihen zu haben. In einem über drei Jahre laufenden angewandten Forschungsvorhaben an der Fachhochschule Osnabrück wurde ein Gerät entwickelt, mit dem es möglich ist, Kulturpflanzen von Nicht-Kulturpflanzen zu unterscheiden und aufgrund dieser Entscheidung eine gesteuerte Hacke zu regeln, die innerhalb der Reihe von Maiskulturen hacken kann. Das von DZINAJ et al. (1998) und RUCKELSHAUSEN et al. (1999) vorgestellte Multi-Sensor-System zur Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern erweist sich, in Verbindung mit einer speziell entwickelten rotierenden Hacke (WİBERODT et al. 1999), als eine vielversprechende Möglichkeit zur Regulierung des Beikrautaufkommens in der Reihe. In einem dreistufigen dynamischen Entwicklungskonzept, von Labormessungen über Gewächshausversuche bis hin zum Feldtest, wurden Maispflanzen und Beikräuter systematisch untersucht und auf Grundlage der Ergebnisse ein Sensorsystem mit einem

nachgeschalteten steuerbaren Hackaggregat auf die Erfordernisse hin konzipiert.

Im Folgenden werden pflanzenbauliche Aspekte als Grundlage zur Entwicklung der Sensorik und der Hacke näher ausgeführt.

Material und Methoden

Die Reihenkultur Mais wurde zur Entwicklung der sensorgesteuerten Querhacke als Modellpflanze ausgewählt. In Gefäß- und Feldversuchen sind der Habitus von Maispflanzen sowie von Beikräutern und Beigräsern (Im Folgenden werden Beikräuter und Beigräser unter dem Begriff Beikräuter zusammengefaßt, sofern nicht speziell unterschieden wird) untersucht worden. Die Untersuchungen beziehen sich vom 2-Blatt- bis zum 6-Blatt-Stadium von Mais auf geometrische Merkmale oberirdischer Pflanzenteile von Maispflanzen und Beikräutern sowie auf Merkmale des Wurzelwachstums von Maispflanzen. Die gewonnenen Daten sind Basis für die Entwicklung geeigneter Sensoren zur Unterscheidung von Kulturpflanze und Nicht-Kulturpflanze sowie für die Konzeption einer exakt geführten Hacke. Zur Beschreibung der geometrischen Eigenschaften, der Entwicklung des Wurzelwachstums und der technologischen Bedingungen für die Bestandesentwicklung wurden die in Tab. 1 aufgeführten Merkmale gemessen.

Tab. 1: Gemessene Merkmale an Mais und Beikräutern

Tab. 1: Measured marks on maize and weeds

Eigenschaft	Merkmal	Meßmethode
Geometrie	Pflanzenhöhe, Beikraut Pflanzenhöhe, Mais	Messung oberhalb der Bodenoberfläche
	Blattbreite, Beikraut Blattlänge, Beikraut	Messung im nicht entrollten bzw. nicht entkrümmten Zustand
	Blattausrichtung, Mais	Schätzung der Blattausrichtung zur Längsrichtung der Reihe (Einteilung: 0 °, 45 °, 90 °, 135 °)
	Stengeldicke, Mais	Messung 5 cm oberhalb der Bodenoberfläche
Wurzelwachstumsentwicklung	Wurzeltiefe, Mais	Messung nach Freilegung der Wurzel
Pflanzenstellenverteilung	Verteilung längs zur Reihe, Mais	Messung der Pflanzenzwischenräume
	Verteilung quer zur Reihe, Mais	Messung des Abstandes links und rechts der Idealline der Pflanzenreihe

Im Rahmen des Projekts wurden 11 Beikrautarten und 4 Beigrasarten intensiv untersucht. Alle Arten wurden in einem klimatisierten Gewächshaus unter gleichen Bedingungen ausgesät und in verschiedenen Entwicklungsstadien bis hin zum dritten Laubblattpaar bzw. Laubblatt untersucht. Dabei wurden Pflanzenhöhe, Blattlänge, Blattbreite der Keim- und Laubblätter gemessen. Zeitgleich wurde zu jedem Aussaattermin der Beikräuter Mais in den selben Pflanzcontainern ausgesät, um eine gute Vergleichsbasis zu bekommen. Alle erfaßten Daten wurden in eine auf MS-Access beruhende Datenbank eingetragen, die eine detaillierte Auswertung und bequeme Verwaltung der Daten ermöglicht.

Ergebnisse und Diskussion

Eine wichtige Größe, die der Unterscheidung zwischen Kulturpflanze und Nicht-Kulturpflanze dient, ist die Pflanzenhöhe. In Tab. 2 ist dies zur besseren Übersicht mit Hilfe eines Quotienten zusammengefaßt. Es wird die Entwicklung des Quotienten aus "Pflanzenhöhe - Mais" und "Pflanzenhöhe - Beikraut" vom Keimblatt-Stadium bis zum 2. Laubblattstadium des Beikrauts wiedergegeben. Da Mais unter normalen Feldbedingungen immer die größere Pflanze darstellt und sich dies im weiteren Entwicklungsverlauf noch verstärkt, stellt die Pflanzenhöhe ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal dar. Gräser weisen niedrigere Quotienten und somit geringere Unterschiede in der Pflanzenhöhe auf, haben aber mit Aus-

nahme von *Setaria viridis* deutlich schmalere Blattspreiten als Mais. Somit ist die Pflanzenhöhe bei vielen Gräsern ein weniger wichtiges Unterscheidungsmerkmal.

Tab. 2: Entwicklung Pflanzenhöhe als Quotient Mais:Beikraut

Tab. 2: Development of plant length as quotient maize:weed

Pflanzenart	Stadium der Beikrauts		
	Keimblatt	1. Laubblatt	2. Laubblatt
CHEAL, <i>Chenopodium album</i>	3,65	4,54	4,50
STEME, <i>Stellaria media</i>	3,31	3,42	3,88
MATCH, <i>Matricaria chamomilla</i>	5,48	5,81	6,50
VIARV, <i>Viola arvensis</i>	9,56	8,32	8,57
ATXPA, <i>Atriplex patula</i>	7,56	8,25	13,84
LAMPU, <i>Lamium purpureum</i>	5,55	5,43	7,50
CAPBP, <i>Capsella bursa-pastoris</i>	7,65	7,27	7,02
SOLNI, <i>Solanum nigrum</i>	-	-	-
THLAR, <i>Thlaspi arvensis</i>	4,78	4,93	5,31
POAAN, <i>Poa annua</i>	1,49	1,56	2,07
ALOMY, <i>Alopecurus myosuroides</i>	1,19	1,22	1,75
ECCGA, <i>Echinochloa crus-galli</i>	1,09	1,00	1,15
SETVI, <i>Setaria viridis</i>	2,54	2,55	2,34
-: keine Versuchsergebnisse			

Die Untersuchungsergebnisse für Mais müssen in technogene Bedingungen für die Bestandesentwicklung und geometrische Eigenschaften unterschieden werden. Die technogenen Bedingungen sind über die in Tab. 1 dargestellten Merkmale der Pflanzenstellenverteilung längs und quer zur Reihe definiert.

Ordnet man die Ergebnisse der von BRÜNING (1998) gemessenen Pflanzenstellenverteilungen nach der durch DLG (1997, S.11-18) definierten Einteilung (s. Tab. 3), so stellt man fest, daß ein beträchtlicher Anteil der Pflanzenstellen als Fehl- oder Doppelstellen einzustufen sind (Tab. 4).

Tab. 3: Einteilung der Pflanzenstellenverteilung nach DLG (1997, S. 11-18)

Tab. 3: Classification of maize plant-position from DLG (1997, p. 11-18)

Pflanzenabstand	DLG-Definition des jeweiligen Abstands
Sollstellen	≥ 0,5- bis < 1,5-facher Istabstand
Doppelstellen	< 0,5-facher Istabstand
Fehlstellen, 1-fach	≥ 1,5- bis < 2,5-facher Istabstand
Fehlstellen, 2-fach	≥ 2,5- bis < 3,5-facher Istabstand
Fehlstellen, über 2-fach	≥ 3,5-facher Istabstand

Der in Tab. 4 aufgeführte Sollabstand ist definiert als der eigentliche Zielabstand, der durch die Aussaat mit der Einzelkornlegemaschine erreicht werden soll. Die in Tab. 4 dargestellten sechs Maschinen (A bis F) sind z.T. auf unterschiedlichen Flächen eingesetzt worden (z.B. A1, A2).

BRÜNING (1998) hat in seinen Untersuchungen (Tab. 4) einen mittleren Anteil Sollstellen von 74,1 % ermittelt. Dies verdeutlicht, wie wenig exakt die Pflanzenstellenverteilung in Längsrichtung der Reihe unter praktischen Feldbedingungen ist. Unter Berücksichtigung der mittleren Standardabweichung von $s = 35,2$ mm bei einem durchschnittlichen Sollabstand von 154,22 mm ist die grobe Verteilung noch anschaulicher. Der Feldaufgang ist ebenfalls eine wichtige Größe hinsichtlich der Pflanzenstellenverteilung. Nach BAEUMER (1990) hängt der Feldaufgang von der technisch bedingten Streuung der Tiefenablage und dem Boden-Samen-Kontakt ab. Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung zeigen einen mittleren Feldaufgang von 80,9 % auf, was einen Hinweis auf optimierungsfähige Aussaatbedingungen gibt.

Tab. 4: Auswertung der Pflanzenstellenverteilung von Mais in Längsrichtung der Reihe
 Tab. 4: Evaluation of maize plant-position along a crop row

Maschine	Sollabstand	STABW	Feldaufgang	V	Sollstellen	Doppelstellen	Fehlstellen		
							1-fach	2-fach	3-fach
	[mm]	[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A1	154	35,9	75,3	25,8	66,6	10,5	17,5	4,0	1,4
A2	154	39,1	67,8	27,8	55,5	13,1	22,6	6,7	2,2
B	170	33,6	70,6	26,4	60,4	7,0	21,3	6,5	1,9
C1	130	30,4	82,3	23,1	78,2	4,5	14,0	2,6	0,8
C2	150	40,4	84,0	26,3	76,0	7,8	14,6	1,6	0,0
C3	150	37,5	89,3	24,2	81,7	7,6	10,4	0,4	0,0
D	170	31,5	93,2	22,8	90,4	2,3	6,8	0,5	0,0
E	155	33,9	88,5	27,0	84,3	3,4	11,7	0,4	0,2
F	155	34,3	77,7	23,2	74,1	3,2	17,9	3,5	1,3
Mittel:	154,22	35,2	80,9	25,2	74,1	6,6	15,2	2,9	0,8

STABW: Standardabweichung; V: Variabilitätskoeffizient

Die zweite Größe der Pflanzenstellenverteilung stellt die seitliche Abweichung von der Ideallinie der Pflanzenreihe dar. Abb. 1 gibt die Ergebnisse in zusammengefaßter Form wieder.

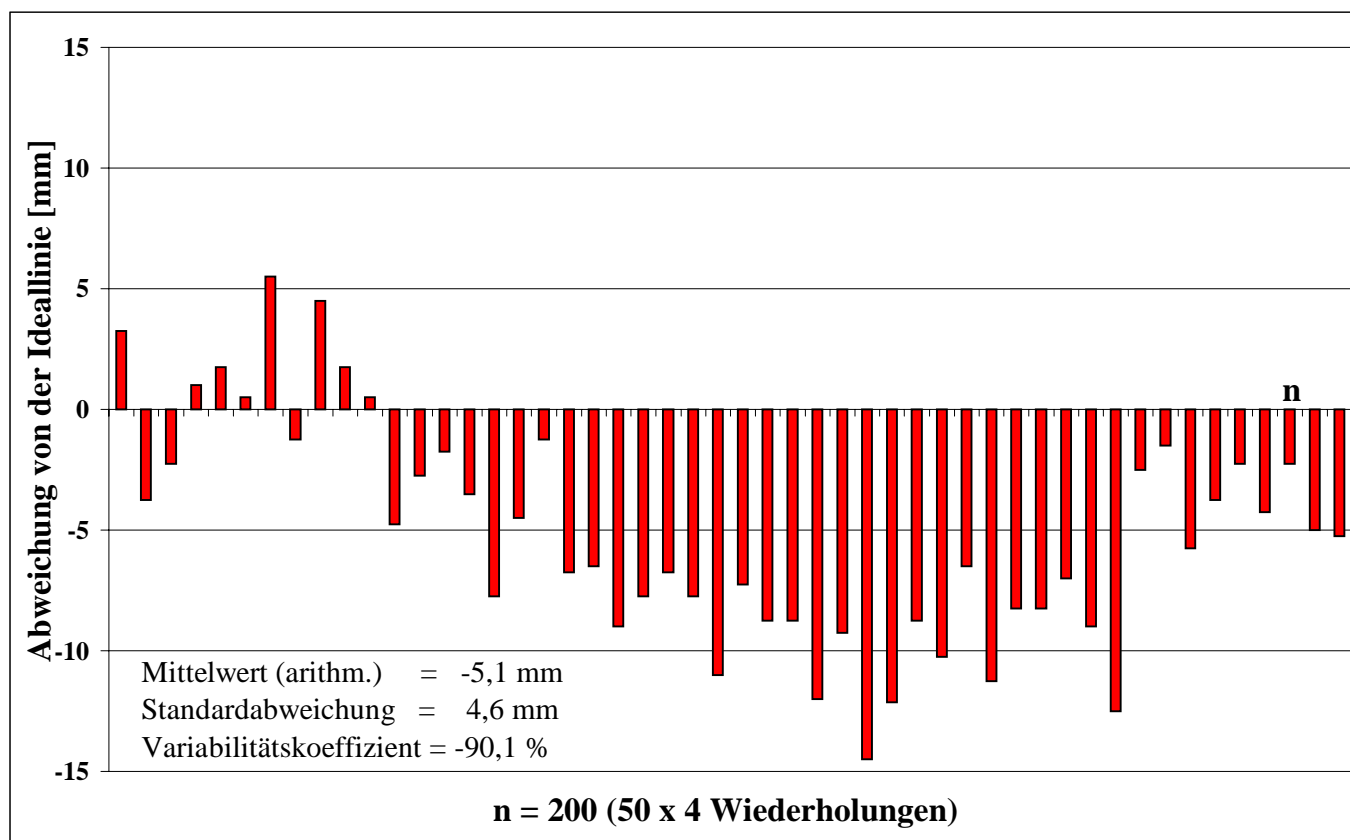


Abb. 1: Abweichung der Pflanzenstellenverteilung von Mais quer zur Reihe (Eigene Untersuchung)
 Fig. 1: Lateral differences of maize plant-position to crop-row (own analysis)

Der Versuch zur Ermittlung der Pflanzenstellenverteilung von Mais quer zur Reihe (Abb. 1) ist mit einer handelsüblichen Einzelkornsämaschine bestellt worden, deren Aussaatresultat durch technische Störgrößen, wie z.B. abgenutzte Säschare verschlechtert worden sein kann. Dadurch kann unter Umständen die auffällige einseitige Verteilung zustande gekommen sein. Das Resultat für die Verteilung in Quer-

richtung fällt durch wesentlich weniger starke Streuung auf, als das Ergebnis für die Verteilung in Längsrichtung (Tab. 4). Aufgrund dieser Ergebnisse muß die Forderung nach einer exakten Positionsbestimmung jeder einzelnen Kulturpflanze aufgestellt werden.

Die Wurzeln von Mais unterteilen sich nach ZSCHEISCHLER (1990, S. 56) in Keim-, Kronen- und Stützwurzeln. Bei einer mechanischen Beikrautregulierung in der Phase vom 2-Blatt- bis zum 6-Blatt-Stadium sind bereits Kronenwurzeln entwickelt. Diese wachsen aus der Verbindung zwischen Mesokotyl und Stengelgrund in einer Tiefe von 2 – 5 cm unter der Bodenoberfläche in einem abwärtsgerichteten Winkel nach außen.

Tab. 5: Ergebnisse des Versuchs zur Entwicklung der Kronenwurzeln von Mais

Tab. 5: Results of experiment of development of adventitious roots of maize

	Mittel (n=100)	Einheit
Pflanzenhöhe	27,75	[cm]
Saattiefe	4,85	[cm]
Wurzeltiefe (Ansatztiefe unter Bodenoberfläche)	2,78	[cm]
Winkel der Wurzel zur Bodenoberfläche	22,31	[°]
Theoretisch verletzte Pflz., direkt am Stengel (Hacktiefe 2 cm)	12,09	[%]
Theoretisch verletzte Pflz., 1 cm Abstand vom Stengel (Hacktiefe 2 cm)	1,39	[%]
Pflz.: Pflanzen		

Aufgrund eigener Gefäßversuche in einem klimatisierten Gewächshaus kann die Ableitung getroffen werden, daß bei einer praxisüblichen mittleren Aussaattiefe von 4,85 cm ein sehr geringer Anteil Kronenwurzeln verletzt wird, wenn direkt am Stengel bzw. in 1 cm Abstand vom Stengel mit einer Arbeitstiefe von 2 cm gehackt wird (s. Tab. 5). Darauf beruhend wurde eine tolerierbare Hacktiefe von 2 cm, bei einem Abstand von 1 cm zum Stengel der Maispflanzen definiert.

Die Blattausrichtung der Maispflanzen ist ein wichtiges Merkmal der Geometrie, das von optischen Sensoren erkannt werden kann. Bei der Untersuchung der Blattausrichtung wurden lediglich die beiden jüngsten Blätter der Maispflanze, die einen gegenständigen Blattstand aufweisen, betrachtet. Wie Tab. 6 zu entnehmen ist, ergibt sich eine relativ gleichmäßige Verteilung auf die vier Gruppen. Dies bedeutet, daß in dieser Untersuchung mindestens 75 % aller Pflanzen eine Blattausrichtung haben, die quer zur Längsrichtung der Maisreihe verläuft. Mit Hilfe eines optischen Sensors, der in der Lage ist, Gestalterkennung durchzuführen, ließe sich dieses Merkmal sensorisch ausnutzen.

Tab. 6: Blattausrichtung der jüngsten Blätter zur Längsrichtung der Maisreihe

Tab. 6: Orientation of leaf of the youngest leafs along a maize row

	3-Blatt-Stadium	4-Blatt-Stadium	6-Blatt-Stadium
0°-Gruppe [Anteil in %]	20	27	24
45°-Gruppe [Anteil in %]	28	27	25
90°-Gruppe [Anteil in %]	25	26	25
135°-Gruppe [Anteil in %]	27	20	27

Die Höhe des Blattansatzes über der Bodenoberfläche sowie die Blattlänge bilden eine wichtige Basis zur Erkennung der Maispflanzen-Geometrie. In Feldversuchen wurden beide Merkmale erfaßt und ausgewertet. So lassen sich nicht nur die absoluten Meßwerte als Mittelwerte angeben (s. Abb. 2), sondern auch Koeffizienten aus beiden Merkmalen bilden.

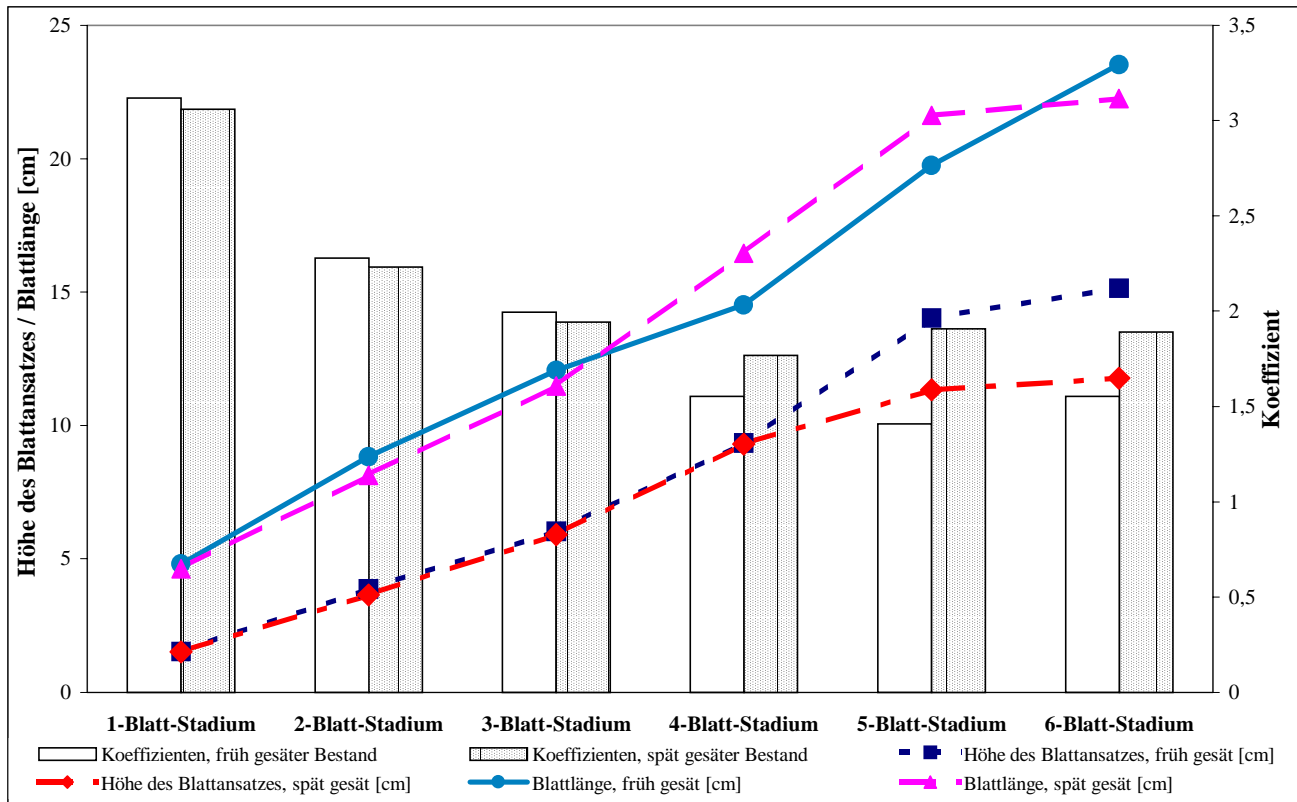


Abb. 2: Höhe des Blattansatzes und Blattlänge des ältesten Blattes von Mais
 Fig. 2: Height of youngest leaf and leaf length of the oldest leaf of maize

Die Koeffizienten geben die für Mais typischen Verhältnisse der Merkmale "Höhe des Blattansatzes" zu "Blattlänge" in der Entwicklung über mehrere Stadien wieder.

Eine Kombination verschiedener Sensoren bildet das System zur Pflanzenerkennung. Bei diesem Multi-Sensor-System handelt es sich um die intelligente Verknüpfung mehrerer einfacher Sensoren. Keiner dieser Sensoren ist alleine in der Lage zwischen Nutzpflanze und Beikraut zu differenzieren, sondern nur in Kombination miteinander. Erst durch die Korrelation vieler unterschiedlicher Signale erhält man eine sichere Aussage über das vorliegende Objekt.

Die Grundinformation im Multi-Sensor-System liefert der **Höhenprofilsensor** (Abb. 3). Er wurde aus 24 Lichtschranken konstruiert, die über einen Microcontroller verknüpft und ausgewertet werden. Die Einleitung einer Korrelation erfolgt basierend auf einer Stengeldetektion des Höhenprofilsensors. Erst wenn ein Stengel mit den vorgegebenen Kriterien sowie weitere aus dem Umfeld erkannt wurden, werden die anderen Sensoren zur Entscheidung herangezogen.



Abb. 3: Schematische Darstellung eines Seitenprofils mit dem Höhenprofilsensor
 Fig. 3: Schematic structure of scanfunction from the Heigh-profile-detector

Durch eine Triggerung bei jedem zurückgelegten Millimeter und anschließender Datenspeicherung erfolgt durch den Höhenprofilsensor ein Scanvorgang, mit dem ein seitliches Profil vom Pflanzenbestand aufgenommen wird. Aus diesem Abbild können anschließend viele Informationen zur Unterscheidung gewonnen werden.

Der **Flächenbelegungssensor** wird zur Verfeinerung der Entscheidung herangezogen. Dabei werden vier Sensoren eingesetzt, die die Reflexionen in unterschiedlichen Höhenpositionen auswerten. Diese Flächenanteile werden an der Position der Stengeldetektion zum Hostrechner übergeben. Je nach Beikraut und Nutzpflanze existieren arttypische Merkmale der Flächenaufteilung, die sehr hilfreich bei der Auswertung sind.

Der **Boden-Pflanzen-Sensor** ist der dritte Sensor im Sensormodul. Er kann zu einer Entscheidung zwischen Beikraut und Nutzpflanze nur sehr geringfügig beitragen, jedoch prüft er grundsätzlich das Vorhandensein eines Pflanzenbestandes. Im Bereich von 600 - 680 nm (rotes sichtbares Licht) wird durch das Chlorophyll in den Pflanzen die Strahlung stark absorbiert, im Nah-Infrarot- (NIR-) Bereich von 750 - 1000 nm dagegen stark reflektiert. Die Reflexion des Bodens steigt dagegen über den gesamten Bereich linear mit der Wellenlänge an. Unter Verwendung zweier signifikanter Wellenlängen, die im Reflexionsverlauf der Grünpflanze einen großen Unterschied zu denen des Bodens besitzen, ist es möglich, eine eindeutige Unterscheidung zwischen Grünpflanze und Boden zu erhalten. Das Sensorsystem mit den vorgestellten Komponenten ist in der Lage, die Umgebung innerhalb der Pflanzenreihen von Maisbeständen millimetergenau abzutasten, um so eine Entscheidung hinsichtlich des Vorhandenseins von Maispflanzen zu treffen. Bisherige Messungen in Gewächshaus- und Feldversuchen zeigten eine gute Arbeitsqualität. So sind nur 2 - 5 % der Maispflanzen irrtümlich als Beikrautpflanzen detektiert worden und 1 - 8 % der Beikrautpflanzen als Maispflanzen. Diese Werte konnten mit Berechnungen durch neuronale Netze festgelegt werden.

Als Aktor wurde eine um die vertikale Achse rotierende Hacke mit acht Werkzeugen entwickelt. Diese beschreibt, bedingt durch eine Translationsbewegung, eine Bahn in Gestalt einer Zykloide (Abb. 4). Es handelt sich um eine permanent rotierende Hacke, deren Werkzeuge bei jeder Beschreibung einer Zykloidenbahn in die Maisreihe hineinarbeitet. In Abhängigkeit der Translationsgeschwindigkeit, der Drehgeschwindigkeit des Hackrotors sowie der Ausformung der einzelnen Werkzeuge am Hackrotor lässt sich die Gestalt der Zykloidenbahn verändern. Jedes einzelne Werkzeug ist unabhängig von allen übrigen Werkzeugen über eine elektromagnetische Schaltung ausklinkbar, um gegebenenfalls einer Kulturpflanze auszuweichen. Nach einem Ausklinkvorgang wird das entsprechende Werkzeug nach einer Halbumdrehung des Rotors über eine Zwangsschaltung wieder in die normale Arbeitsposition zurückgeführt.

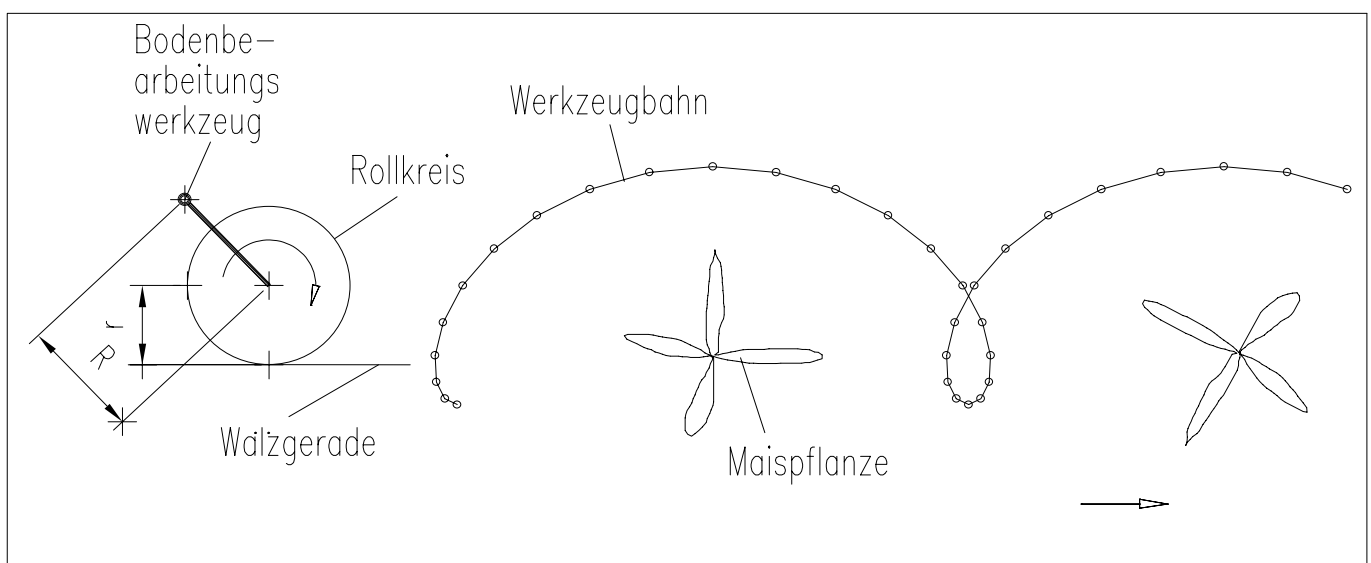


Abb. 4: Zykloide Werkzeugbahnen zur Bearbeitung von Reihenkulturen

Fig. 4: Cycloidal traces for treatment of row crop

Die acht am Hackrotor befindlichen Werkzeuge sind, bedingt durch die Translationsgeschwindigkeit und die Rotordrehzahl, auf einen Abstand von 10 cm eingestellt. Dieser Abstand beschreibt die Entfernung von der Mitte einer Zykloidenkeule zur Mitte der nächsten. Aufgrund dieser Konstellation ergibt sich eine Frequenz von 25 Hz für die Werkzeugbewegungen ohne Ausklinkvorgänge. Beim Betrieb mit Ausklinkvorgängen, die im jetzigen Entwicklungsstand durch eine elektromagnetische Schaltung ausgeführt werden, können noch Frequenzen im Bereich von 3 Hz erzielt werden. Durch Veränderung der Parameter "Translationsgeschwindigkeit" und "Rotordrehzahl" können die Zykloidenabstände unterschiedlichen Anforderungen angepaßt werden.

Der Hostrechner bekommt ständig exakte Positionsinformationen der einzelnen Maispflanzen sowie genaue Informationen über die Positionen, an denen die einzelnen Hackwerkzeuge in die Pflanzenreihe hineinhacken. Wird eine Kollision zwischen Maispflanze und einem einzelnen Hackwerkzeug errechnet, kann das entsprechende Hackwerkzeug ausgeklinkt werden, so daß es nicht an der Position einer Maispflanze in die Reihe hineinhackt.

Die vorstehenden Ausführungen zu den botanischen und pflanzenbaulichen Parametern sowie dem Sensor- und Hacksystem machen deutlich, daß das Konzept der "Sensorgesteuerten Querhacke im Mais" funktioniert. Mit Hilfe des Sensorsystems können Merkmale der Kulturpflanze erkannt und eine exakte Positionsbestimmung jeder einzelnen Kulturpflanze erreicht werden. Die spezielle Konzeption der Hacke ermöglicht es, quer in die Reihe hineinzuhacken und bei Kollisionsgefahr mit einer Maispflanze einzelne Werkzeuge an der Hacke auszuklinken. Der jetzige Prototyp "Querhacke" (Abb. 5) wird als einachsiger Anhänger hinter dem Schlepper nachgeführt.

Im Verlauf der nächsten Entwicklungen sind weitere pflanzenbauliche Untersuchungen notwendig, die aussagekräftige Ergebnisse hinsichtlich der Hackeffizienz ermöglichen. Ziel der anschließenden Projektphase muß es sein, dieses System für Maiskulturen zu optimieren sowie auf andere Reihenkulturen wie die Zuckerrübe, Gemüsearten oder sogar Baumkulturen auszudehnen, um so den Einsatz von Herbiziden in diesen Kulturen zu senken.



Abb. 5: Aktueller Prototyp der "Querhacke"

Fig. 5: Actual prototype of transversal hoe ("Querhacke")

Literatur

- BAEUMER, K.: Verfahren und Wirkungen der Bodenbearbeitung. In: DIERCKS, R.; HEITEFUSS, R.: Integrierter Landbau. München: BLV Verl.-Ges. 1990.
- BRÜNING, H.: Untersuchung zur Standgenauigkeit von Mais unter Berücksichtigung unterschiedlicher Legesysteme. Diplomarbeit am Fachbereich Agrarwissenschaften, Fachhochschule Osnabrück, 1998.
- DLG (Hrsg.): Prüfrahen. Einzelkornsämaschinen. Frankfurt: DLG-Verlag 1997.
- DZINAJ, T., KLEINE HÖRSTKAMP, S., LINZ, A. RUCKELSHAUSEN, A., BÖTTGER, O., KEMPER, M., MARQUERING, J., NAESCHER, J., TRAUTZ, D., WISSERODT, E.: Multi-Sensor-System zur Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern. 19. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 10.-12.03.98, Z. PflKrankh. Pflschutz, Sonderh. XVI, 233 - 242, Stuttgart-Hohenheim, 1998.
- RUCKELSHAUSEN, A., DZINAJ, T., GELZE, F., KLEINE HÖRSTKAMP, S., LINZ, A.: Microcontroller-based multi-sensor system for online crop/weed detection. The 1999 Brighton Conference Weeds, 15.-18.11.99, Conference proceedings volume 2, 601 - 606, Brighton, 1999.
- WIBERODT, E., GRIMM, J., KEMPER, M., KIELHORN, A., KLEIN-HARTLAGE, H., NARDMANN, M., NAESCHER, J., TRAUTZ, D.: Gesteuerte Hacke zur Beikrautregulierung innerhalb der Reihe von Pflanzenkulturen. Tagung Landtechnik 1999 / VDI-MEG, 155 - 160. Düsseldorf: VDI-Verlag 1999.
- ZSCHEISCHLER, J.: Handbuch Mais: Umweltgerechter Anbau; Wirtschaftliche Verwertung. Frankfurt a.M.: DLG-Verlag 1990.