

Multi-Sensor-System zur Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern

T. DZINAJ¹, S. KLEINE HÖRSTKAMP¹, A. LINZ¹, A. RUCKELSHAUSEN¹, O. BÖTTGER¹, M. KEMPER², J. MARQUERING², J. NAESCHER¹, D. TRAUTZ¹, E. WIBERODT¹

¹ Fachhochschule Osnabrück Fachbereiche Agrarwissenschaften, Elektrotechnik, Maschinenbau;
Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück,

² Amazonen-Werke GmbH & Co. KG, Am Amazonenwerk 9-13, 49205 Hasbergen-Gaste

Email: ruckel@wap1.et.fh-osnabrueck.de

(gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt)

Zusammenfassung

Im Rahmen der Entwicklung eines mechanischen Gerätes für das Hacken innerhalb der Reihe ("Querhacke") zur Vermeidung von Herbiziden, ist eine Sensorik zur on-line Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern erforderlich. Im Vorhaben werden hierzu - am Beispiel "Mais" - verschiedene Sensoren und Sensorsysteme mit unterschiedlichen Selektivitäten zur Erfassung geometrischer und spektraler Merkmale eingesetzt. Hierzu zählen verschiedene Photodioden-Systeme, schnelle low-cost xy-Arrays, CCD-Zeilensensoren, Ultraschallsysteme sowie Drucksensoren. Die intelligente Verknüpfung der Merkmale unter Einsatz der Mikroelektronik (Mikrocontroller, programmierbare Bausteine) soll die Unterscheidung der Pflanzen ermöglichen.

Die Meßergebnisse der oben aufgeführten Sensorsysteme für Mais und Beikräuter auf einem dynamischen Labormeißplatz sowie erste Resultate zur Kombination der Merkmalerfassungssysteme werden vorgestellt.

Stichwörter: Unkrautregulierung, Sensoren, ortsspezifische Landwirtschaft, Mais

Summary

Multi-Sensor-System for Distinguishing Crop-Plants from Weeds

This project aims at the development of a sensor system for the on-line distinction of crop plants from weeds, which is to become integral part of a mechanical hoe capable of weeding the area in between the crop plants in one row (traverse hoe). Various sensors and sensor systems with different selectivities to record geometrical and spectral characteristics are employed. These include photodiode systems, high-speed low-cost xy-arrays, CCD line sensors, ultrasonic systems as well as pressure sensors. An intelligent combination of plant features through the use of microelectronics (microcontroller, programmable logic devices) facilitates the distinction of plants.

The sensor systems implemented will be described and a selection of measurements obtained in tests as well as first results in the combination of sensor systems are introduced.

Key words: Weed control, sensors, precision agriculture, maize

I Einleitung

Die Reduktion der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln stellt sowohl unter ökologischen als auch gesetzlichen Rahmenbedingungen zum Schutz von Kulturpflanzen einen wesentlichen Punkt der Gestaltung landtechnischer Geräte dar (KÜHBAUCH 1996). Mechanische Behandlungsverfahren bieten hierzu Ansätze, wobei sich die Verfahren überwiegend auf die Bearbeitung zwischen den Pflanzenreihen beziehen (JANßEN 1996).

Die Verfügbarkeit eines mechanischen Hackgerätes zur Beikrautregulierung innerhalb einer Reihe von Pflanzenkulturen eröffnet - in Kombination mit konventionellen Hackverfahren - die Möglichkeit einer rein mechanischen Beikrautregulierung ohne jeglichen Einsatz von Herbiziden. Die Zielrichtung der beschriebenen Methode ist die Entwicklung einer sensorisch gesteuerten Maschine für die mechanische Beikrautregulierung innerhalb der Reihen von Pflanzenkulturen. Hierzu stellt neben der Entwicklung des mechanischen Hackgerätes (HILKER 1995) die Entwicklung einer Sensorik zur Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern die wesentliche technologische Komponente dar. Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung und Anwendung des Sensorsystems beschrieben.

Die Sensorik zur Steuerung des Hackgerätes muß bei hohen Geschwindigkeiten Beikräuter von Nutzpflanzen unterscheiden und lokalisieren können. Verschiedene Verfahren zu dieser Problematik werden in der Literatur beschrieben (KÜHBAUCH 1996), wobei aufgrund der Anforderungen bzgl. der Selektivität und der Dynamik für ein mechanisches Hackgerät noch keine praktikablen Lösungsansätze existieren, da es sich um überwiegend statische Pflanzenerkennungen handelt. Am weitesten fortgeschritten ist die Erprobung optoelektronischer Sensoren (BILLER 1997) in Kombination mit der lokalen Ausbringung von Herbiziden. Von HELLEBRAND (1997) wird hierzu angeführt, daß " ...die automatische Unkrautbestimmung im Nutzpflanzenbestand eine ungelöste Frage (ist)".

Der Stand der sensorischen Entwicklungen läßt sich derzeit durch die folgenden Angaben charakterisieren:

- Kein Sensor - mit Ausnahme eines Bildaufnehmers - kann alleine genügend Informationen liefern, um ortsspezifisch Nutzpflanzen von Beikräutern on-line zu unterscheiden.
- Es gibt zur Zeit kein on-line-fähiges Bildverarbeitungssystem zur Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern.

Aufgrund der Konzentration der Untersuchungen auf die Bildverarbeitung und die Analyse spektraler Eigenschaften mit Photodioden wurde die Zielrichtung der Kombination verschiedener Sensoren bisher wenig beachtet. Dieser Weg wird in dem hier beschriebenen Verfahren als alternative Lösungsmöglichkeit beschränkt. Hierzu erfassen verschiedene Sensoren und Sensorsysteme einzelne Merkmale der Pflanzen oder der Umgebung. Die intelligente Verknüpfung der einzelnen Merkmale unter Einsatz der Mikroelektronik ermöglicht dann eine Unterscheidung zwischen Nutzpflanzen und Beikräutern. Im Vorhaben werden hierzu - am Beispiel "Mais" - verschiedene Sensoren und Sensorsysteme mit unterschiedlichen Selektivitäten zur Erfassung der Merkmale eingesetzt. Hierzu zählen Photodioden-Systeme, xy-Arrays, CCD-Zeilensensoren, Ultraschallsysteme oder Drucksensoren.

Die Merkmale beziehen sich auf geometrische und spektrale Signaturen. Die bekannten Unterschiede im Reflexionsverhalten (AMON 1993) sind in Abb. 1 (BORGSMANN & SIBBEL 1997) am Beispiel Mais dargestellt. Abb. 2 vergleicht - als Beispiel - die Geometrien eines Beikrauts (Vergißmeinnicht) und einer Maispflanze.

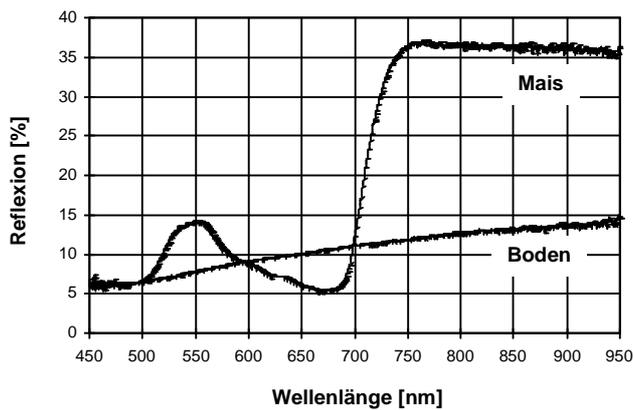


Abb. 1: Reflektionseigenschaften von Boden und Mais
Fig. 1: Spectral properties of maize and earth

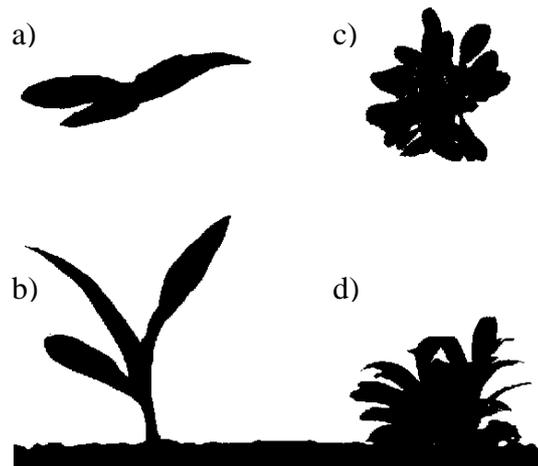


Abb. 2 : Geometrien einer Maispflanze in a) Draufsicht, b) Seitenansicht; Vergißmeinnicht in c) Draufsicht, d) Seitenansicht

Fig. 2: Geometrical properties of maize a) top view, b) side view; and a weed c) top view, d) side view

II Material und Methoden

Pflanzenmerkmale

Bei der Formulierung der Pflanzenmerkmale ist deren sensorische Erfassbarkeit ein wichtiges Kriterium zur Umsetzung des oben beschriebenen Konzeptes. Sie unterscheiden sich daher z.T. deutlich von den in der Literatur zur Beschreibung von Pflanzen herangezogenen Charakteristika.

Für die Umsetzung auf ein prozessorgesteuertes System ist die Transformation der Merkmale in eine binäre Betrachtungsweise vorteilhaft, d.h., die Beschreibung wird auf die Ziffern "0" ("Merkmal nicht erfüllt") und "1" (Merkmal erfüllt) reduziert. Gegebenenfalls kann durch die Einführung von Unterkategorien eine größere Differenzierung erzielt werden, um beispielsweise verschiedene Wachstumsstadien oder Verbeikrautungen auf dem Feld zu berücksichtigen. Zur Veranschaulichung der Methode ist in Tabelle 1 eine solche "digitalisierte Merkmalsmatrix" als Beispiel für die Nutzpflanze Mais und vier wichtiger Beikräuter (KUHLMANN 1996) dargestellt. Die Zuordnung der Merkmale zu den entsprechenden Sensorsystemen erfolgt hier in den oberen Reihen der Tabelle. Es schließt sich eine Unterteilung der einzelnen Merkmale in Unterkategorien an; so wird z.B. die Höhe unterteilt in < (kleiner Mais), = (gleich Mais), > (größerMais) und o.A. .

Tabelle 1: Prinzipieller Aufbau der Merkmalsmatrix

Table 1: Principal structure of the digital matrix

Merkmal:	Fuga		Ultraschall							Spektralsensor								Software			
	Kreuzsensor		Höhensensor				Boden-Pflanze			Zeilensensor				Boden - Pflanze				Häufigkeit			
	Geometrie		Höhe				Flächenbelegung			Stengeldicke				spektrale Eigenschaften							
																			Prozent		
Pflanze	=	<>	<	=	>	?	<	=	>	?	<	=	>	?	<<	=	>>	<<	=	>>	
Mais	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	100
weisser Gänsefuß	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	56
Vogelmiere	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	38
Winden-Knöterich	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	-	?	-	0	1	0	37
echte Kamille	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	21

Die Analyse der binären Angaben ermöglicht durch Selektion einer bestimmten Bitkombination (“Maske”) die Festlegung der Pflanze. Hierdurch wird die sensortechnische Umsetzung erleichtert. Die Kombination der Merkmalsmatrix mit den Sensoreigenschaften stellt die Ausgangsbasis zur Realisierung des Gesamtsystems dar. Eine Gewichtung der verschiedenen Merkmale in Abhängigkeit von der Signifikanz der einzelnen Ergebnisse und deren Zuverlässigkeit kann gegebenenfalls die Auswertezeit des Gesamtsystems verbessern.

Die dargestellte Matrix stellt hiermit sowohl die Schnittstelle zwischen Meßwerterfassung und -auswertung als auch die Grundlage für die nachfolgende Auswertung dar.

Sensoren

Nachdem auf die zentrale Rolle der Merkmalsmatrix bei der Bewertung der Sensorsignale eingegangen wurde, werden nun die verwendeten Sensoren und Sensorsysteme beschrieben. Es sei darauf hingewiesen, daß die Systemtechnik auf entsprechend formatierte Informationen der Sensorik angewiesen ist; es wird aufgrund der Vorzüge modularer Bauweise in der Entwicklungsphase einer dezentralen Struktur der Vorzug gegeben, d.h. die Vorverarbeitung der anfallenden, meist analogen Signale erfolgt lokal an den jeweiligen Sensoren selbst, dem Hostprozessor obliegt hauptsächlich die Koordinierung und Entscheidungsfindung (siehe unten: “Sensor-Systemtechnik”).

In frühen Entwicklungsstadien des Maises (19-22, CIBA 1989) läßt sich eine charakteristische Anordnung der Blätter feststellen. Besonders ausgeprägt ist dieses Merkmal bis zum 3-Blatt-Stadium. Die räumlichen Reflektionseigenschaften von Mais unterscheiden sich entsprechend von denjenigen der in der Merkmalsmatrix gelisteten Beikräuter. Mittels einer, im folgenden mit *Kreuzsensor* bezeichneten Anordnung zweier im rechtwinkligen Kreuz angeordneten Reihen von 6 bzw. 7 parallel geschalteten Photodioden mit Langpaßfilter, die in einem optischen Block untergebracht sind, wird eine selektive Erfassung dieses Merkmales ermöglicht (KÖSTERS & HACKMANN 1997). Alternativ hierzu wird eine FUGA CMOS-Kamera zur Erfassung des genannten Merkmales verwandt. Beide Systeme werden detaillierter von LINZ et al.(1998) beschrieben.

Der Durchmesser des Stengels der Maispflanze ist von Pflanze zu Pflanze verschieden und abhängig von Wachstumsperiode und Ausrichtung; jedoch ist er immer groß im Vergleich zu typischen Beikräutern. Der Stengel ist im vorgestellten Projekt von besonderer Bedeutung, da er nicht nur zur Differenzierung von Pflanzen herangezogen werden kann, sondern die Kenntnis seiner genauen Position zur Steuerung der Aktoren unerlässlich ist. Die spektralen und mechanischen Eigenschaften des Maisstengels werden durch eine Reihe verschiedener Sensoren erfaßt.

Beim *Zeilensensor* sind zwei LED-Reihen sowie zwei CCD-Zeilensensoren horizontal und auf gleicher Höhe parallel zueinander angeordnet (Abb. 3). Ein sich zwischen Sender und Empfänger befindliches Objekt erzeugt eine variable Abschattung der Zeilensensoren, die zur Berechnung sowohl der Dicke als auch der Position herangezogen werden kann. Ein Tageslichtfilter sowie der Einsatz von IR-Dioden im Pulsbetrieb machen dieses System von Schwankungen im Umgebungslicht unabhängig.

Ein zweites auf optischen Grundlagen basierendes System zur Erfassung der Position des Stengels ist die von BORGMANN & SIBBEL (1997) beschriebene Anordnung von *Photodiodenpaaren*. Langpaßfilter mit den Durchlaßbereichen 670nm und 750nm sowie eine empirisch ermittelte Ausrichtung der Paare mit Bezug zu Fahrtrichtung und Höhe sowie die anschließende Differenzbildung nutzen die unterschiedlichen Reflektionseigenschaften der Pflanzen in Abhängigkeit von der Höhe aus.

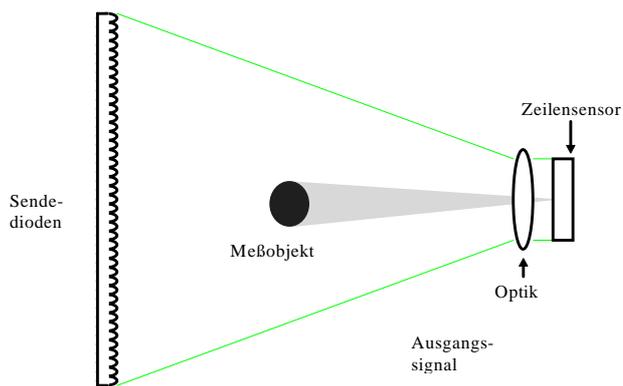


Abb. 3 : Schematische Darstellung eines Zeilensensors
 Fig.3: Schematic illustration of a linear imager

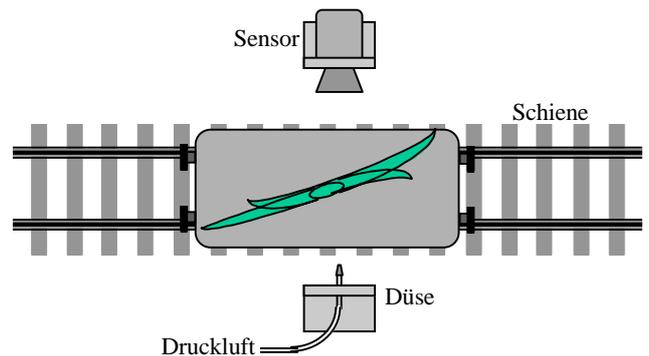


Abb. 4: Schematische Darstellung des Druckluftensors
 Fig. 4: Schematic illustration of the pressure sensor

Ein weiterer Ansatz ist die Implementierung von Laserdioden zur quantitativen Erfassung der Transmissionseigenschaften des Maisstengels. Das Meßobjekt wird hier zwischen einem auf gegenüberliegenden Seiten des Objektes angeordneten Laser-Photodiodenpaar hindurchgeführt; dieses Verfahren liefert aufgrund der Konzentration und Intensität des monochromatischen Lichtes neben Objektbreite auch Informationen zum Transmissionsverhalten des durchleuchteten Mediums (VISSCHER 1997).

Der von BIERBAUM & PREUTH (1997) eingesetzte Druckluftsensor nutzt die im Vergleich zu Beikrautstengeln höhere Stabilität des Maisstengels aus. Das Meßobjekt wird über eine Düse mit Druckluft von ca. 1,5 bar angeblasen und die Signaländerungen an einem gegenüber angeordneten Drucksensor gemessen. (Abb. 4).

Die Höhe einer Maispflanze ist ein sicher zu erfassendes Merkmal und gleichzeitig ein sehr gewichtiges Unterscheidungsmerkmal; auch wird sie zur Parametrierung des Systems herangezogen, denn die Ausrichtung der Sensoren und die Auswertung der Signale sind u.a. abhängig vom an der Höhe abzulesenden Wachstumsstadium. Der Höhensensor besteht aus zwei gegenüberliegenden, je 16 Sende- und Empfangsdioden fassenden optischen Blöcken; bei dieser Vielfachlichtschranke beeinflusst die Pflanze den Strahlengang entsprechend ihrer Form, d.h. Höhe (Abb. 5).

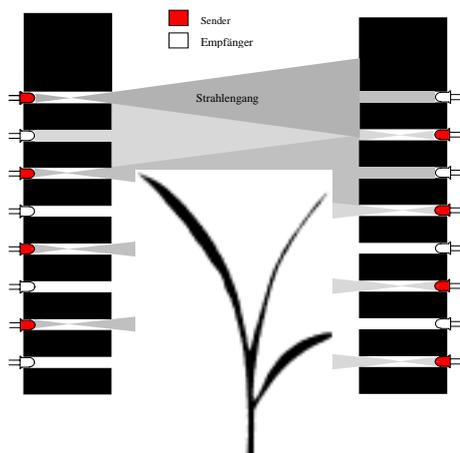


Abb. 5: Schematische Darstellung der Höhensensors
 Fig. 5: Schematic illustration of the height sensor

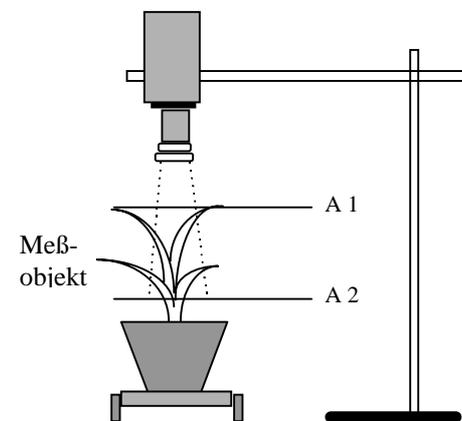


Abb. 6: Anordnung des Ultraschallsensors
 Fig. 6: Implementation of the ultrasonic sensor

Die Möglichkeit der Aufzeichnung eines Höhenprofils mittels eines *Ultraschallsensors* wurde bereits von MEYER (1996) untersucht. Auch im vorliegenden Projekt werden Ultraschallsysteme zur Erkennung von Geometrie und Höhe verwendet (Abb. 6). Eingesetzt wird ein kommerzieller Ultraschallsensor, dessen Ausgangssignal bei gewählter Anordnung proportional zur Höhe des erfaßten Objektes ist. Durch die Vorgabe eines Fensters innerhalb dessen gemessen wird, ist eine Ausblendung des Hintergrundes, d.h. in unserem Falle des Bodens möglich.

Wie aus Abb. 1 ersichtlich unterscheiden sich Boden und pflanzliche Stoffe hinsichtlich ihrer spektralen Eigenschaften. Des weiteren ist der Bodenbedeckungsfaktor von Pflanze zu Pflanze unterschiedlich, d.h. das Maß, in dem diese Pflanze den Boden bedeckt. Es lag daher nahe, einen Sensor zu konstruieren, der diese Merkmale ausnutzt, um das Vorhandensein einer Pflanze zu detektieren und dessen Signale zudem auch Rückschlüsse über den Bodenbedeckungsfaktor zulassen. Der von ZIERMANN & OVERBERG (1997) entworfene *Boden-Pflanze-Sensor* erfaßt die Signale von je 4 Photodioden in den Wellenlängenbereichen 670nm und 750nm und führt wahlweise analog oder digital eine Quotientenbildung der jeweiligen Ausgangssignale durch.

Sensor-Systemtechnik

Um eine Bearbeitung der Vielzahl der im Echtzeitbetrieb an den einzelnen Sensoren anfallenden Signale zu ermöglichen, wird die in Abb. 7 dargestellte Systemarchitektur favorisiert, wobei schnelle Microcontroller mit RISC Architektur (PIC von Arizona Microchip®) und/oder sehr flexibel einsetzbare programmierbare Logikbausteine (EPLDs von ALTERA®) eine Vorstrukturierung der Daten übernehmen, während ein zentraler Hostprozessor für die Steuerung und Auswertung sorgt. Die Umsetzung des Gesamtsystems wurde im sensornahen Bereich bereits realisiert (PIC, EPLD), der Bereich der Ansteuerung (Host, CAN-Bus) befindet sich in der Entwicklung.

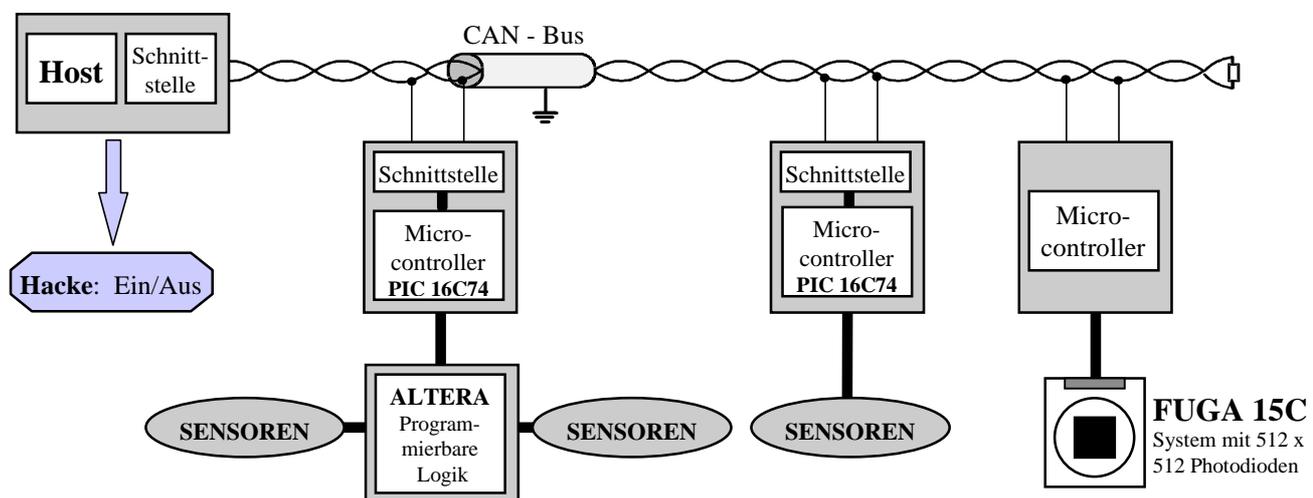


Abb. 7: Struktureller Aufbau der Systemtechnik

Fig. 7: Diagram of the system architecture

Die Auswertung der Sensorsignale erfolgt auf Basis der in Tabelle 1 dargestellten Merkmalsmatrix.

Eine alternative Auswertung der Sensorsignale ist der Einsatz neuronaler Netze (ZELL 1994). Ein neuronales Netzwerk (NN) ist ein informationsverarbeitendes System, das in Anlehnung an die netzartige Struktur im Gehirn von Menschen und Tieren entworfen wurde. Für die Computersimulation eines solchen Netzes ist es notwendig, die Struktur biologisch neuronaler Netzwerke (Gehirn) in mathematische Modelle zu übertragen. Grundsätzlich besteht ein NN aus *Input Units* (Eingänge), *Hidden Units*

(Zwischenschichten), und *Output Units* (Ausgänge). Eine Unit stellt jeweils ein Neuron dar, das über mathematische Funktionen mit anderen Neuronen verknüpft ist. Das wesentliche Merkmal eines NN ist die Möglichkeit, die optimalen Parameter (Gewichtungen) für das jeweils spezielle Netz über Lernalgorithmen zu ermitteln.

Abb. 8 zeigt qualitativ das von BIERBAUM & PREUTH (1997) zur Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern eingesetzte Modell. Die verschiedenen (reduzierten) Sensordaten liefern beispielsweise binäre Ausgangssignale zu “Mais”, “Beikraut” oder anderen Größen (z.B. “Boden”).

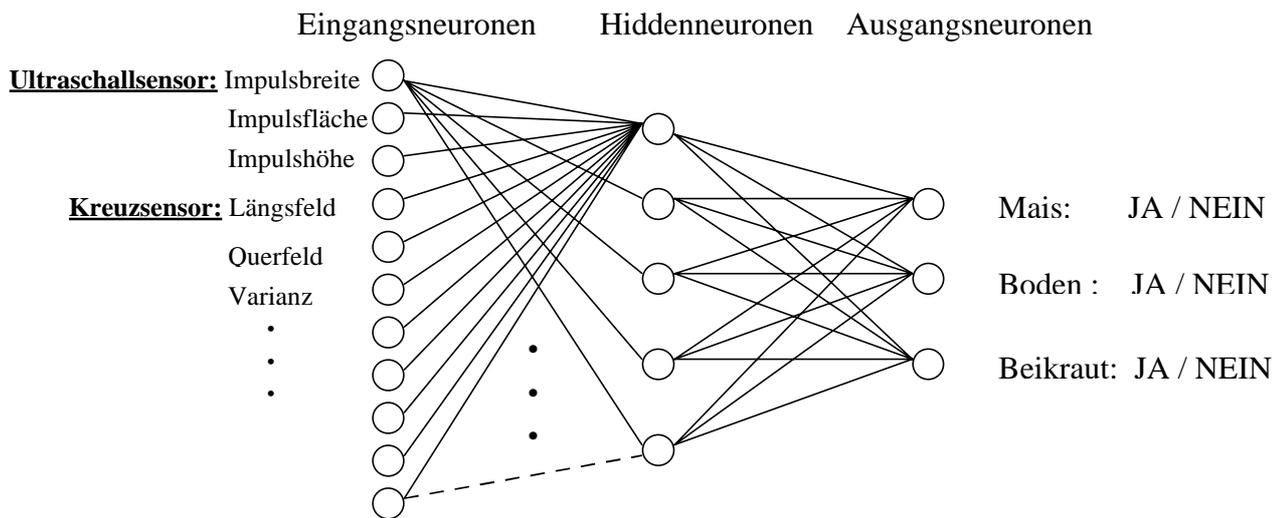


Abb. 8: Modell eines Neuronalen Netzes

Fig. 8: Model of a neural network

Meßaufbau

Im Rahmen der laufenden Untersuchungen wurde ein Meßaufbau realisiert, der zur Überprüfung der Charakteristika der verschiedenen eingesetzten Sensoren im statischen und dynamischen Betrieb geeignet ist.

Für dynamische Messungen fährt eine LGA- Eisenbahn, wie in Abb. 9 dargestellt, sequentiell die an den Gleisen positionierten Sensormeßstände ab, deren Ausgangssignale über eine geeignete Software erfasst und visualisiert werden. Durch den Einsatz einer TelemetrieVorrichtung zur Erfassung der zurückgelegten Wegstrecke lassen sich die Ergebnisse auf eine gemeinsame Ordinate beziehen, womit die Korrelation verschiedener Sensorsysteme greifbar wird; dies entspricht weitgehend dem zugrundeliegenden Konzept.

Meßergebnis und Ort zur Beschreibung des Meßverhaltens einzelner Sensoren stehen zur Verfügung. Vorteil des modularen Aufbaus ist die Möglichkeit zur Modifizierung einzelner Sensoren ohne eine Beeinträchtigung des Gesamtsystems.

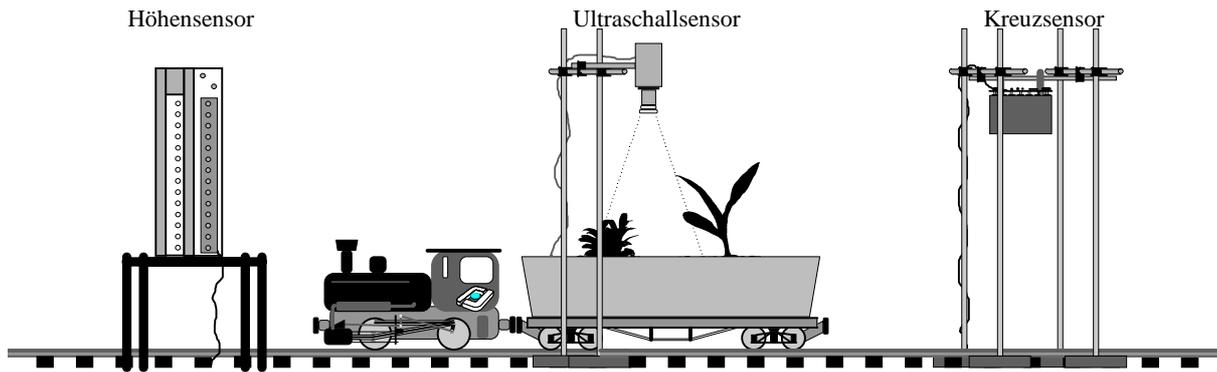


Abb. 9: Realisierung eines dynamischen Meßplatzes durch eine Modelleisenbahn mit Meßständen
Fig. 9: Utilizing a model railway for dynamic measurements

III Ergebnisse und Diskussion

Generell läßt sich sagen, daß die in Abschnitt II näher beschriebenen Sensorsysteme im direkten Vergleich deutliche Unterschiede hinsichtlich ihres Auflösungsvermögens, ihrer Zuverlässigkeit und somit Informationsgehaltes aufweisen; diese Tendenz ist aufgrund der immanenten Trägheit einzelner Systeme, z.B. der Ultraschallmethode, besonders im dynamischen Betrieb erkennbar. Die Implementierung einer gewichteten Auswertung bietet sich daher an.

Die Mehrzahl der untersuchten Sensorsysteme basiert auf dem Einsatz optischer Komponenten; diese sind hinsichtlich ihres Echtzeitverhaltens problemlos, müssen aber durch geeignete Regelkreise in ihrem Dynamikbereich dem Umgebungslicht angepaßt werden.

Die exakte Steuerung der Aktoren macht im vorliegenden Fall neben der Erkennung und Unterscheidung die Lokalisierung, d.h. die Erfassung der genauen Position der Pflanze unumgänglich. Aus diesem Grund werden Signale optischer Sensoren hier vor allem auf ihren diesbezüglichen Informationsgehalt untersucht. So haben BORGSMANN & SIBBEL (1997) bereits ohne Einbeziehung weiterer Sensoren mittels geometrisch angeordneter Sensoren unter Laborbedingungen eine eindeutige Bestimmung der Position von Maisstengeln erzielen können.

Für die Abtastung der Oberfläche einer Pflanze in einer festgelegten Höhe liefert der Zeilensensor ein charakteristisches Signal (Abb. 10). Mit dem digitalisierten Sensorsignal kann eine Aussage über geometrische Merkmale getroffen werden, wie z. B. die Dicke des Stengels und die Dichte des Bewuchses.

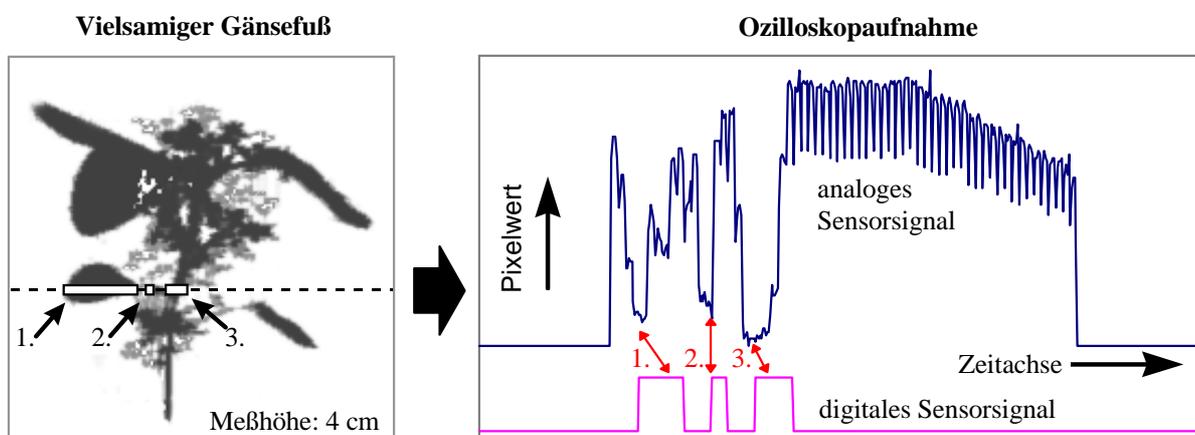


Abb. 10: Korrelation Ausgangssignal - Meßobjekt beim Zeilensensor
Fig. 10: Linear Imager: Correlation of output-signal and object geometry

Mittels des Boden-Pflanze Sensors von OVERBERG & ZIERMANN (1997) kann eine Unterscheidung der darunterliegenden Fläche in Boden bzw. Pflanze vorgenommen werden. Des weiteren liegen erste Ergebnisse zur Bestimmung des Bodenbedeckungsfaktors vor, die allerdings noch verifiziert werden müssen. Weiterhin wurde die Tauglichkeit der Ultraschall- und Drucksensoren unter Laborbedingungen nachgewiesen (KASSING 1997, BIERBAUM & PREUTH 1997.) Ein gewichtiger Vorteil dieser Sensoren ist die Tatsache, daß sich ihr Störgrößenprofil von dem der optischen unterscheidet.

Parallel zur Auswertung der mit einzelnen Sensoren erzielten Resultate wurde bereits von Anfang an großer Wert auf die Verknüpfung gelegt, die den Kernpunkt der sensorischen Erfassung darstellt. Empirisch können so Korrelationen ermittelt sowie einzelne Sensoren mit Hinblick auf deren Zusammenwirken im Verbund optimiert werden. Im folgenden soll anhand eines Beispiels das Konzept der Kombination einzelner Signale vorgestellt werden.

Abb. 11 zeigt zwei Bildschirmstellungen (“Screenshots”) einer Beispielapplikation; visualisiert wurden hier die Ausgangssignale des Höhensensors und des Kreuzsensors (siehe Abschnitt II) für Mais und Vogelmiere. Im dargestellten Fall weist der direkte Vergleich der Meßergebnisse beider Sensoren signifikante Unterschiede auf, eine Klassifizierung in Nutzpflanze bzw. Beikraut kann getroffen werden. Ist dies nicht der Fall - z.B. bei gleicher Höhe von Beikraut und Mais - , so wird die Parametrierung der nachgeschalteten Logik darüber entscheiden, ob eine Differenzierung nur anhand des Signals des Kreuzsensors vorgenommen werden kann oder ein dritter Sensor hinzugezogen wird.

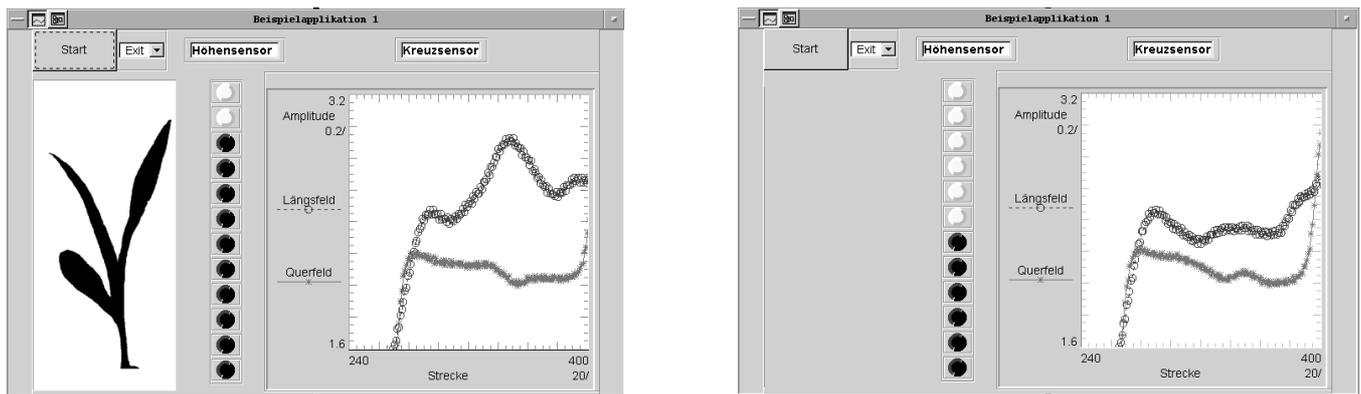


Abb. 11: Illustration der Kombination zweier Sensorsysteme (links: Mais, rechts: Beikraut)

Fig. 11: Illustration of the combined application of two sensor systems (left side: maize, right side: weed)

Informationen zur Signifikanz einzelner Sensorsignale liefert auch der Einsatz neuronaler Netze. Durch die Verwendung von 23 Eingangsparametern ergaben sich - unter Laborbedingungen - für die Merkmale “Mais”, “Boden” und “Beikraut” hohe Erkennungsquoten bis zu 98%, 99% und 94 % (BIERBAUM & PREUTH 1997). Klarerweise hängt die Effektivität des neuronalen Netzes auch stark von der Qualität der Eingangsgrößen (Sensorik, Aufarbeitung der Signale) ab.

Zusammenfassend zeigen die Anwendungen der einzelnen Sensorsysteme und erste Resultate zur Kombination gute Ergebnisse unter Laborbedingungen. Insbesondere ergibt sich durch die unterschiedlichen Selektivitäten der Sensoren, insbesondere bezüglich der zu untersuchenden Störgrößen, eine hohe Flexibilität bei der Analyse der Signale. Speziell wird die Entscheidung zur Ansteuerung des mechanischen Systems nicht von der Qualität - und damit von der Störanfälligkeit - eines einzelnen Sensors abhängen.

Die systemtechnische Umsetzung unter Einbeziehung aller (selektiver) Sensoren steht bei der Fortführung des Vorhabens im Vordergrund. Untersuchungen zum Einfluß von Störgrößen und zur Zuverlässigkeit der Systeme werden durch Feldversuche fortgeführt.

LITERATUR

- AMON, H., SCHNEIDER, T., 1993. Anwendung spektraler Signaturen von Pflanzenbeständen für die Produktionstechnik im Pflanzenbau, Zeitschrift für Agrarinformatik 3/93, 54-60.
- BIERBAUM, U. & PREUTH, H., 1997. Diplomarbeit: Sensorunterstützte Pflanzenerkennung mit Hilfe Neuronaler Netze, Fachhochschule Osnabrück; Betreuer: T.Gervens
- BILLER, R.M., HOLLSTEIN, A., 1997. Erkennung und gezielte Kontrolle von Unkraut. Landtechnik 52 (6/97 292-293).
- BORGMANN, J., SIBBEL, H., 1997. Diplomarbeit: Entwicklung und Anwendung optoelektronischer Sensorsysteme zur Pflanzenerkennung auf Basis spektraler Signaturen, Fachhochschule Osnabrück, Fachbereich Elektrotechnik, in Arbeit.
- CIBA -GAIGY, 1989. Mais Kulturinformationen
- HELLEBRAND, H.J., 1997. Meßverfahren zur Informationsgewinnung in der ortsspezifischen Landbewirtschaftung - Prinzipien und Tendenzen, Zeitschrift für Agrarinformatik 1/97, 2-8.
- HILKER, A., 1995. Diplomarbeit: Technikwirkungsanalyse für eine Reihenhackmaschine, Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Landwirtschaft
- JANßen, J., 1996, Diplomarbeit: Beikrautregulierung in Mais ohne Anwendung chemischer Mittel, Fachbereich Agrarwissenschaften, Fachhochschule Osnabrück
- KASSING, T. 1997. Diplomarbeit: Anwendung von Ultraschallsensoren zur Pflanzenerkennung, Fachbereich Elektrotechnik, Fachhochschule Osnabrück
- KÖSTERS, K.-H. & HACKMANN, M., 1997. Diplomarbeit: Entwicklung und Anwendung optoelektronischer Systeme zur Pflanzenerkennung, Fachbereich Elektrotechnik, Fachhochschule Osnabrück
- KÜHBAUCH, W., 1996. Anwendungsperspektiven der sensorgesteuerten Unkrautkontrolle, KTBL-Arbeitspapier 236, 9-21, 1996.
- KUHLMANN, J, 1996. Unkrautbekämpfung in Mais, top agrar 04/96
- LINZ, A., ET AL., 1998, Einsatz des FUGA15C xy-Photodiodenarrays zur Erfassung von Pflanzenmerkmalen, 19. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 10.-12.03.98, Stuttgart-Hohenheim
- MEYER, J., WEBER, H., 1996. Automatische Führung von Hackgeräten, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV, 417-422.
- VISSCHER, H: 1997. Diplomarbeit: Sensorsysteme aus Laser- und Photodioden zur Pflanzenerkennung, Fachhochschule Osnabrück, Fachbereich Elektrotechnik, Betreuer: D.Kaiser
- ZELL, A., 1994, Simulation Neuronaler Netze, Addison-Wesley, Bonn 1994
- ZIERMANN, R. & OVERBERG, D., 1997. Diplomarbeit: Optoelektronische Sensorsysteme zur Erfassung von Pflanzenmerkmalen unter Einbeziehung programmierbarer Bausteine, Fachbereich Elektrotechnik, Fachhochschule Osnabrück.