

# Einsatzprobleme von Sensoren in der experimentellen Agrarforschung

Dr.-Ing. J. Lübcke, Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock der AdL der DDR  
Dr.-Ing. S. Peukert, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Tierproduktion

## 1. Einleitung

Durch die zunehmende Automatisierung von Prozessen in der Agrarforschung und die ständig verbesserten Möglichkeiten der Informationsverarbeitung durch den Einsatz der Mikroelektronik gewinnen Sensoren eine immer größere wissenschaftlich-technische und ökonomische Bedeutung. Sensoren ermöglichen die Informationsgewinnung des zu untersuchenden Prozesses und über entsprechende Aktoren seine Steuerung. Sie müssen als Teil des jeweiligen Meßinformationssystems betrachtet werden, die bestimmte prozeßrelevante Informationen erst einer Informationsverarbeitung zugänglich machen.

Der Begriff „Sensor“ wurde Ende der 70er Jahre als umfassendere Definition für die davor üblichen Begriffe, wie Meßfühler, Meßgrößenwandler u. ä., eingeführt. Die Funktion eines Sensors besteht i. allg. darin, eine Prozeßkenngröße, deren Qualität nicht als Signal geeignet ist, in ein elektrisch verarbeitbares Signal umzusetzen. Durch die Einführung leistungsfähiger Mikrorechenstechnik ist heute international eine deutliche Diskrepanz zwischen der Informationsgewinnung und potentiell verfügbarer Informationsverarbeitungsleistung aufgetreten.

Dieses Problem spiegelt sich auch in markanter Weise in der experimentellen Agrarforschung wider. Die Problematik der Sensoren, die hier bereits beim Einsatz traditioneller Meßtechnik stets einen Engpaß bildeten, wird unter dem Aspekt des Vordringens der Mikroelektronik in die Agrarforschung zu einer Frage von forschungsstrategischer Bedeutung.

## 2. Darstellung typischer komplexer Meßprobleme

Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet eine Sensordefinition nach [1]. Technische Sensoren werden zur Informationsaufnahme verwendet. Sie sollen die Informationen aus dem Prozeß aufnehmen und der Informationsverarbeitung zuführen. Da die Darstellung sich an den Einsatzproblemen der Mikroelektronik orientieren soll, beschränken sich die Fragestellungen ausschließlich auf Sensoren mit elektronischen Ausgangssignalen (elektrische Sensoren). Die Aufbereitung des umfangreichen Informationsmaterials wurde unter folgenden Aspekten vorgenommen:

- Analyse typischer Meßverfahren
- Darstellung der problemspezifischen Beschreibung
- Kritik am Stand der Technik
- gewünschte Modifikation und Neuentwicklungen
- Beschreibung von Meßproblemen, die eine Neuentwicklung von Meßverfahren und Sensoren erfordern.

In Tafel 1 werden typische meßtechnische Aufgaben und die entsprechenden abstrahierten physikalischen Meßprinzipien dargestellt. Die Tafel enthält keine Wichtung nach Qualität und Quantität der eingesetzten Meßverfahren. Es ist aber sofort das sehr breite

Tafel 1. Übersicht zu typischen komplexen Meßproblemen in der experimentellen Agrarforschung

agrartechnisches Problemfeld	meßtechnische Abstraktion
Klimameßtechnik	Temperatur (taktill und berührungslos)
Gasstoffwechselformung	Feuchte (relativ und absolut)
typische Anwendungsfelder:	Luftdruck Strahlung Strahlungsbilanz
Züchtung (Pflanzen- und Tierproduktion)	Gaskonzentration
Energieumsatzuntersuchungen	Strömungsgeschwindigkeit von Gasen Windrichtung Evaporation Mengenmessung (Niederschlag) Volumenstrom von Gasen und von Flüssigkeiten
Produktionskontrolle	Bodendichte Bodenfeuchte, Gutfeuchte Eindringtiefe Kraft Drehmoment Winkel Volumenstrom Temperatur
Mechanisierungsprobleme	Masse Volumenstrom von Flüssigkeiten und von Gasen Füllstand Temperatur Druck Identifikationsprobleme Zählgrößen Wegmessung Geometriebestimmung
Produktionskontrolle, Produktionssteuerung	
Laborrationalisierung	Die Sensoren der Analysenmeßtechnik stellen einen großen Problemkreis für sich dar. Analysenautomaten arbeiten i. allg. mit mehreren Wandlungen der Meßgrößen. Beispiele für typische Meßprobleme sind Masse, Dichte, Feuchte, pH-Wert, Stoffzusammensetzung, Spektralmessungen.

Spektrum der notwendigen Sensoren erkennbar, die in der experimentellen Agrarforschung eingesetzt werden müssen. Dabei muß betont werden, daß sich dieses Anwendungsspektrum der Sensoren zukünftig noch verbreitern wird. Weiterhin wird in der Tafel nicht nach unmittelbaren bzw. mittelbaren Wirkprinzipien unterschieden, so daß hinter einigen pauschal genannten Meßproblemen komplexe Meßsysteme mit einer komplizierten Wirkungskette stehen.

Bestimmte meßtechnische Aufgabenstellungen, wie sie in Tafel 1 aufgeführt werden, kommen in vielen agrartechnischen Meßkomplexen immer wieder vor. Das betrifft vorrangig die physikalischen Grundgrößen Temperatur, Feuchte, Kraft, Druck, Masse und Volumen [2]. Tafel 2 zeigt anhand typischer, in der Agrarforschung sehr häufig vorkommender Beispiele die Anwendungen von verfügbaren Sensoren. Diskutiert werden der Meßbereich, die Fehlergrenzen, die Anwendungsgebiete sowie die problemspezifischen Schwierigkeiten. Diese Zusammenstellung gibt einen Einblick in die Vielfalt der Einsatzprobleme, wie sie bei heute verfügbaren Sensoren auftreten.

Eine Vielzahl von Meßproblemen läßt sich nur mit Einschränkungen lösen. Häufig sind eigene gerätetechnische Lösungen für eine Problemanpassung bereits bei verfügbaren Sensoren erforderlich und oft entsteht dabei ein unvermeidbar hoher Wartungsaufwand. Typische Forderungen an die Meßtechnik in der Agrarforschung, wie

- Miniaturisierung der Sensoren
- kleine Einschwingzeitkonstanten
- hohe Robustheit
- lineare Übertragungsfunktion
- Sensor soll nach Möglichkeit ein verfügbares, billiges Massenprodukt sein, lassen sich i. allg. nicht mehr mit Modifikationen und Weiterentwicklungen herkömmlicher Sensoren realisieren, sondern erfordern die Anwendung teilweise völlig neuer Wirkprinzipie. Unter diesem Aspekt ist der Entwicklung der Halbleitersensoren eine große Aufmerksamkeit zu widmen, da sie aus heutiger Sicht perspektivisch der Erfüllung dieser pauschalen Forderungen am nächsten kommen [3].

## 3. Tendenzen und perspektivische Anforderungen an Sensoren

In Tafel 3 sind typische Anwenderforderungen für perspektivische Sensorentwicklungen zusammengestellt, die sich derzeit für die Belange der experimentellen Agrarforschung ableiten lassen. Ein wichtiger zusätzlicher Gesichtspunkt ist die immer stärker werdende Forderung nach Ablösung von Sensoren mit einem hohen Aufwand an Edelmetallen und Spezialchemikalien bzw. Sondermaterialien. Die Übersicht enthält eine Grobklassifikation wichtiger Meßaufgaben für die experimentelle Forschung und die darauf aufbauenden Wirkprinzipie. Zielstellung der auf neuen Wirkprinzipien beruhenden Sensorsysteme muß es sein, neue bisher nicht einsetzbare Meßverfahren zur Verbesserung der Erkenntnisgewinnung bzw. für die Produktionskontrolle zu nutzen. Nach vorsichtigen Schätzungen werden die meisten auf Halbleiterbasis wirkenden Sensorprinzipie erst in 3 bis 4 Jahren erhältlich sein. Zunehmend ist hier der Trend zu intelligenten Sensoren festzustellen, die durch softwaregestützte robuste Sensoren ergänzt werden (z. B. CCD-Technik mit integrierter Informationsverarbeitung). Ein Überblick zu dieser Technik ist in [3] enthalten. Die Lö-

Tafel 2. Beispiele für typische multivalent in der Agrarforschung eingesetzte Sensoren

physikalische Größe	Sensor	Meßbereich/ Fehlergrenzen	Anwendungen	problemspezifische Anwendungsschwierigkeiten
Temperatur	Pt 100	- 100 ... 120 °C ±0,3 ... 0,1 °C	- Temperaturbestimmung in Flüssigkeiten und Gasen - Körpertemperaturmessung - induktive Feuchtebestimmung	thermische Zeitkonstanten Nichtlinearität des Sensors Exemplarsteuerungen
	Thermoelement	0 ... 600 °C ± 1 % 0 ... 40 °C ± 0,15 K - 5 ... 30 °C ± 0,5 K	Blatttemperaturmessung Maschinenbelastung Bodentemperaturmessung	kleine Meßspannung geringe Meßsteilheit Nichtlinearität des Sensors große Exemplarsteuerungen
	Thermistor	0 ... 60 °C	Oberflächentemperaturmessung hohe Meßsteilheit und kleine thermische Zeitkonstante	starke Nichtlinearität des Sensors große Exemplarsteuerungen
Feuchte	Taupunktfühler	- 20 ... 40 °C (Taupunkt) < 10 %	Betriebsmeßtechnik für Klimakammern Klimameßtechnik	Fehler zu groß Kalibrierverfahren kompliziert Sensoren sind nicht langzeitstabil zusätzlicher Heizstrom erforderlich Einsatz mehrerer Sensoren für Teilbereiche erforderlich
	Leitfähigkeitsmesser (elektrische Leitfähigkeit in Feuchtebestimmung aus Temperaturdifferenz)	12 ... 95 % < 2 %	Klimameßtechnik	Sensor ist konstruktiv aufwendig kompliziertes Kalibrierverfahren keine Langzeitstabilität
	Psychrometer (Feuchtebestimmung aus Temperaturdifferenz)	5 ... 95 % < 2 %	Labor und Analysemeßtechnik	Unterteilung in Teilbereiche erforderlich Ventilation erforderlich Nichtlinearität des Sensors wirkt störend
Masse, Kraft, Druck	Halbleiterdehnmeßstreifen, HLW-Kraftmeßdosen	0,2 ... 100 kN	Kraftmessung bei Maschinensystemen, elektronische Waagen	technologische Anpaßschwierigkeiten der Sensoren Probleme mit der Klimafestigkeit Kalibrierprobleme

sung von Meßaufgaben in der experimentellen Agrarforschung wird auch in Zukunft von den im Angebot befindlichen Sensoren maßgeblich abhängen.

Hauptanliegen in den Einrichtungen der Agrarforschung muß es deshalb sein, selbständige Anpassungsarbeiten an verfügbaren Sensoren bzw. deren Weiterentwicklungen (Modifikationen) für spezielle Einsatz-

zwecke vorzunehmen. Aufgrund der relativ geringen Anzahl von Sensoren für die experimentelle Agrarforschung kann das o. g. Anliegen nur durch den eigenen wissenschaftlichen Gerätebau erreicht werden.

**Literatur**

[1] Hofmann, D.: Entwicklungstendenzen der Sensortechnik. Feingerätetechnik, Berlin 31 (1982) 1, S. 3-7.

[2] Lübecke, J.; Peukert, S.: Einsatz von Sensoren in der Agrarforschung im Bereich der AdL. Arbeitsmaterial der Kommission Forschungstechnologie der AdL, Berlin 1983.

[3] Schoppnies, E.: Sensoren auf der Grundlage der Si-Planartechnologie. radio-fernsehen-elektronik, Berlin 32 (1983) 3, S. 159-162; 4, S. 226-228. A 3854

Tafel 3. Aufgaben zur Sensorenentwicklung

Meßgröße	typisches Meßproblem	Wirkprinzip	Meßbereich	sonstige Anforderung
Temperatur	Raum-, Körper- und Oberflächentemperatur	Halbleiterbasis	-10 ... 60 °C -50 ... 450 °C	kleine Zeitkonstante, hohe Linearität, geringe Streuung, spezielle Bauformen und Schutzvorrichtungen, sehr kleine Abmessungen, Fehler ±0,1 K
	Oberflächentemperatur (berührungslos) von Pflanzen und Tieren	IR-Basis, optoelektronische Sensoren	-200 ... 2 000 °C 0 ... 40 °C	
Feuchte	Boden-, Luft- und Gutfeuchte (absolute und relative Feuchte) Klimameßtechnik Mechanisierungsforschung	Halbleiterbasis	Bodenfeuchte 20 ... 80 % ±30 %	kleine Zeitkonstante, große Robustheit
Bestrahlungsstärke	aktive Strahlung für die Photosynthese	Optoelektronik	400 ... 700 nm ±2 %	
Kraft, Druck	breite agrartechnische Anwendung, Bodendruckmessung, Lagerungsprobleme von Obst, Gemüse; Standfestigkeit Getreide, Qualitätsprüfung	Halleffekt Wiegandeffekt Magnetdioden (Silicon-on-sapphire-Technologie) Dehnungsmeßstreifen	z. B. mg ... t N ... MN	stark problemspezifische Anforderungen, große Robustheit
Objekterkennung, berührungslose Längen- und Flächenbestimmung	elektronische Bildauswertung, Erkennung von Konturen Schnellmeßverfahren für die Produktionskontrolle	optoelektronisch CCD, kernphysikalische Verfahren		problemspezifische Anforderungen, Entwicklung hochauflösender Meßsysteme mit lokalen Mikroprozessoren
Gasanalyse (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> )	Klimameßtechnik, Energieeinsatz, Netto-Photosynthese, Physiologie/Züchtung	Halbleiterbasis	≤ 10 ppm	große Langzeitstabilität
Volumenstrom von Flüssigkeiten und Gasen	Betriebsmeßtechnik/Produktionskontrolle (Milch, Gülle, Kraftstoff)	optoelektronisch induktiv, kapazitiv, Gammastrahlen, Ultraschall		problemspezifisch
Dichte	Bodendichtemessung	z. B. Bildauswertung, Bodendichtesonden (z. B. Ultraschallprinzip)		