

# Sensortechnik für den ortsflexiblen Robotereinsatz

**N. Ahlbehrendt**, Berlin, **B. Matthias**, Ladenburg, **A. Neumann**, Berlin, **O. Görnemann**, Düsseldorf, **S. Prinz**, Großlehna, **C. Almeida**, Aachen, **J. Hümmler**, Geislingen

## Kurzfassung

Im Rahmen des BMBF - Verbundprojektes PORTHOS wird ein portables Handhabungssystem für den ortsflexiblen Einsatz in der Produktion entwickelt. Das Gesamtsystemkonzept [1-3] umfasst die Teilaspekte Portabilität, Sicherheit, Programmierung [4] und Sensorintegration. Vorgestellt wird das Sensorkonzept zur Selbstkalibrierung und zum Toleranzausgleich.

## Abstract

Within the framework of the project "PORTHOS", supported by the German Ministry of Education and Research (BMBF), we are developing a portable machine tending system for flexible deployment in production. The full system concept [1-3] includes the aspects of portability, personnel safety, programming [4] and sensor integration. The sensor integration concept for self-calibration and adaptation to tolerances is described here.

## 1. Einleitung

Die Bestückung von Werkzeug- und Bearbeitungsmaschinen erfolgt in den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) größtenteils immer noch manuell. Ursachen hierfür sind u.a. schnell wechselnde Produkte, auftragsbedingt wechselnde Auslastungsgrade der Maschinen und der hohe Programmieraufwand bei mangelnder Adaptionfähigkeit, die einem wirtschaftlichen Einsatz stationärer Roboter entgegenstehen.

Im Rahmen des vom BMBF im Programm "Produktion und Fertigungstechnologien" (PFT) geförderten Verbundprojektes PORTHOS (01PH2020) wird ein portables Handhabungssystem für den ortsflexiblen Einsatz in der Produktion entwickelt. Das Gesamtsystemkonzept ist im Beitrag [3] vorgestellt (s.a. [1-2]). Es umfasst die Teilaspekte Portabilität, Sicherheit,

Programmierung (s. Beitrag [4]) und die Sensorintegration. Das Konzept der Sensorintegration wird nachfolgend vorgestellt, wobei der Personenschutz hier nicht behandelt wird.

## **2. Sensorkonzept**

### **2.1 Aufgaben der Sensorik**

Mit der Sensorintegration soll sowohl das Einrichten von neuen Aufgaben erleichtert und nutzertransparent unterstützt wie auch die notwendige Adaptionfähigkeit des portablen Robotersystems an veränderte Bedingungen erreicht werden. Die Zellenkomponenten sind im wesentlichen die Maschine(n), die Zuführ- und Ablagebehälter sowie die zu handhabenden Objekte. Die Einrichtung und Programmierung der Arbeitsaufgaben des Roboters erfolgt in bezug auf die einzelnen Koordinatensysteme der Zellenkomponenten unter Zugrundelegung konkreter geometrischer Beziehungen untereinander und zum Roboter. Mit Wechsel des Roboters zu verschiedenen Arbeitsstationen sind entweder die exakte Einhaltung bzw. Reproduzierbarkeit der bei der Programmierung vorliegenden Bedingungen zu garantieren, was praktisch nicht oder nur teilweise mit aufwändigen Maßnahmen gewährleistet werden kann.

Für den ortsflexiblen Robotereinsatz unter Produktionsbedingungen ist zumindest mit Toleranzen der Roboterpositionierung, der Zustellung der Zuführ- und Ablagebehälter sowie der Objekte in den Behältern zu rechnen, die der Roboter möglichst selbständig und automatisch erkennen und ausgleichen soll.

Die betrachteten Aufgabenklassen für den Sensoreinsatz im PORTHOS-System umfassen daher das *sensorgestützte Teach-In*, die *Zellenparametrisierung*, die *Kalibrierung* und den *Toleranzausgleich*.

Je nach Komplexität und Konfigurierbarkeit der eingesetzten Sensorik sind auch Aufgaben der *Sensorkalibrierung* selbst von Bedeutung. Diese Einsatzflexibilität und Konfigurierbarkeit wird erst durch Verfahren der möglichst automatischen Selbstkalibrierung wirtschaftlich nutzbar.

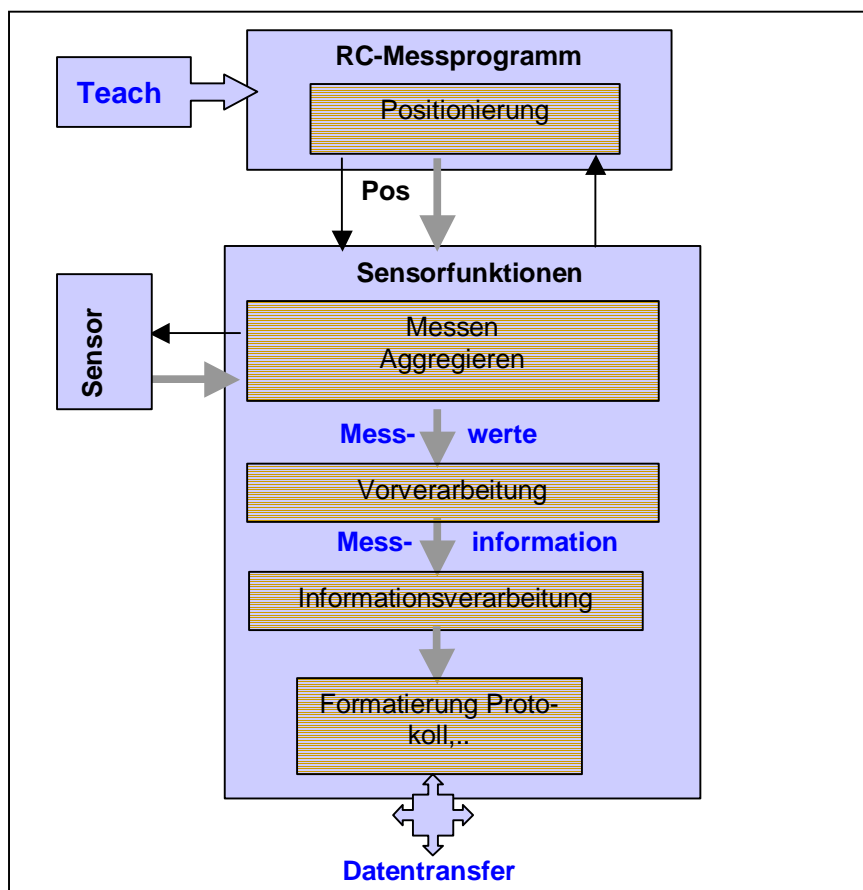
### **2.2 Sensor-Systemkonzept**

Grundsätzlich sind zur Lösung konkreter Aufgabenstellungen unterschiedliche Messwertgeber, Verfahrenstechniken und Positionierungen der Messwertgeber sowie deren Kombinationen möglich. Letztlich entscheidet der konkrete Einsatzfall über die Wahl des Mess- und Auswerteverfahrens sowie über die Platzierung der Messwertgeber.

Wesentliche Kriterien sind neben den Kosten:

- Robustheit und Umgebungsbedingungen,
- Montagebedingungen und Raumbedarf,
- Informationsgehalt und Genauigkeit,
- Messzeiten und Datenraten,
- Steuerungsanforderungen und Schnittstellen.

Um diesen vielfältigen Gestaltungsanforderungen gerecht zu werden und ein breites Anwendungsspektrum zu erreichen, wird ein modulares Sensorconcept zu Grunde gelegt, das in seiner applikationsspezifischen Auslegung/Ausbaustufe konfigurierbar und in seinen Teilkomponenten kombinierbar ist. In Bild 1 ist das ausgebaute Systemconcept schematisch dargestellt. Es enthält die *Messstrategie* unter Einbezug der Roboter-Freiheitsgrade, die *Messwertvorverarbeitung* zu einheitlichen *Messinformationen* für die *Informationsverarbeitung* zu „steuerungsrelevanten“ Informationen, wie auch den *Informationstransfer*.



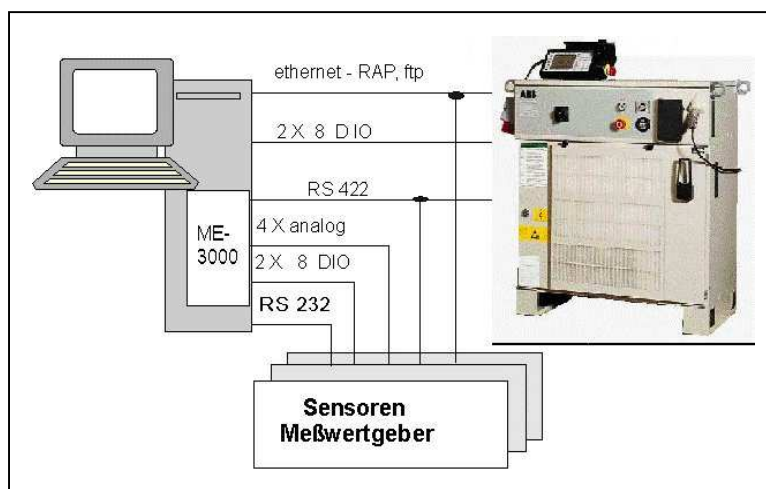
**Bild 1:** Schematische Darstellung des Sensorconzeptes für das PORTHOS System.

Schwerpunktmäßig ist die Integration der Sensorik am PORTHOS-Roboter zur multivalenten Nutzung vorgesehen. Die stationäre Sensorisierung der einzelnen Arbeitsstationen kann jedoch grundsätzlich applikationsspezifisch in Ergänzung oder alternativ genutzt werden.

### 3. Entwicklungsstand der Sensortools

#### 3.1 Schnittstellengestaltung

Im derzeitigen Entwicklungsstand werden die Sensorfunktionen auf einem IPC realisiert (s. Bild 2). Es ist der gleiche Rechner, der für Einrichtung und Programmierung verwendet wird



**Bild 2:** Stand der Schnittstellengestaltung

(s.[4]). Für den Dateien-, Daten- und Befehlsaustausch zwischen dem Sensorrechner und der Robotersteuerung sind derzeit binäre I/O, serielle und ethernet/ftp Verbindungen realisiert.

Für die Primärdatengewinnung durch die Sensoren/ Messwertgeber stehen derzeit binäre I/O, analoge, serielle sowie ethernet-Schnittstellen zur Verfügung.

Für die hier die gestellten Aufgaben und dazu ausgewählten Sensoren sind diese zunächst ausreichend. Diese Schnittstellen sind je nach Bedarf und Anforderungen der im weiteren zu nutzenden Sensoren ausbaubar.

#### 3.2 Auswahl der Sensoren

Die Auswahl der im Projekt konkret eingesetzten Sensoren orientiert sich an den vorgesehenen Piloteinsatzfällen in der Württembergischen Metallwarenfabrik AG zur Beschickung von Bearbeitungsmaschinen (z.B. Pressen, Stanzen, etc.) für kleinere Objekte der WMF-Produktion (s. Bild 3) sowie in der BMW Motorrad AG/Berlin zur Beschickung von Fertigungsmaschinen mit größeren und strukturierteren Motorradrahmen. Damit wird für die Testphase des PORTHOS-Systems ein weites Applikationsfeld abgedeckt.

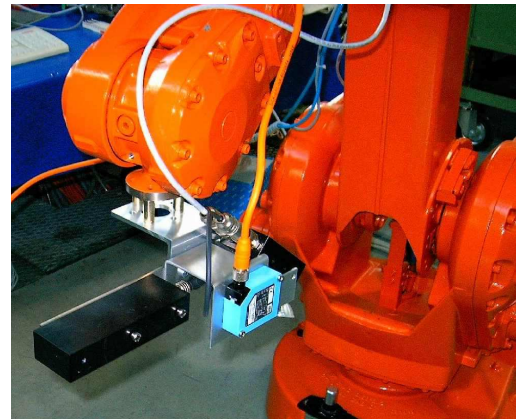
Für dieses Applikationsspektrum ist im Vorhaben der konkrete Einsatz von optischen Sensoren vorgesehen (s. Bild 4 u. 5):



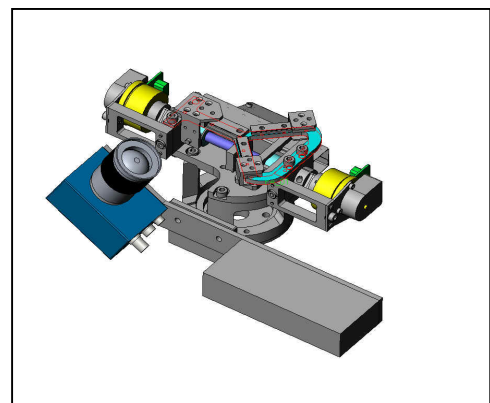
**Bild 3:** Zu- und Abführcontainer für Bearbeitungsmaschinen. (Quelle WMF)

- Bildsensoren/Kameras,
- Laserlichtschnitt-Sensoren,
- Optische Abstandssensoren.

Genutzt wird derzeit eine Kamera ( 1024X1280) mit auswechselbarem Objektiv. In Verbindung mit einem Laserstreifenprojektor ist dieser Sensor sowohl zur 2D-Grauwertbilderfassung wie auch als 3D-Laserlichtschnittsensor und in deren Kombination einsetzbar. Die Datenübertragung erfolgt via ethernet. In Besonderheit kann die Datenübertragung durch integrierte Datenvorverarbeitung auf das abgebildete Laserstreifenprofil drastisch reduziert werden. Gleichzeitig wird damit auch die 3D-Sensoraufbereitung entlastet. Konfigurationsdaten des Kamerasystems ( z.B. Integrationszeit, Parameter zur Profildetektion, etc.) sind in einer Initialisierungsphase einstellbar. Damit ist eine breite und flexible Nutzung dieses Meßsystems gegeben. Allerdings kann die notwendige Anordnung eines Laserlichtschnittsensors für einen geforderten Beobachtungsbereich inakzeptable Dimensionen bedingen, so dass auf andere Messwertgeber zurückgegriffen werden muss.



**Bild 4:** Testaufbau Kamera, Laser-Projektor und Abstandssensor am Roboter. (ABB, GFal, SICK, WZL)



**Bild 5:** Beispiel der Sensorintegration in einem Multifunktionalgreifer. (Quelle: ABB)

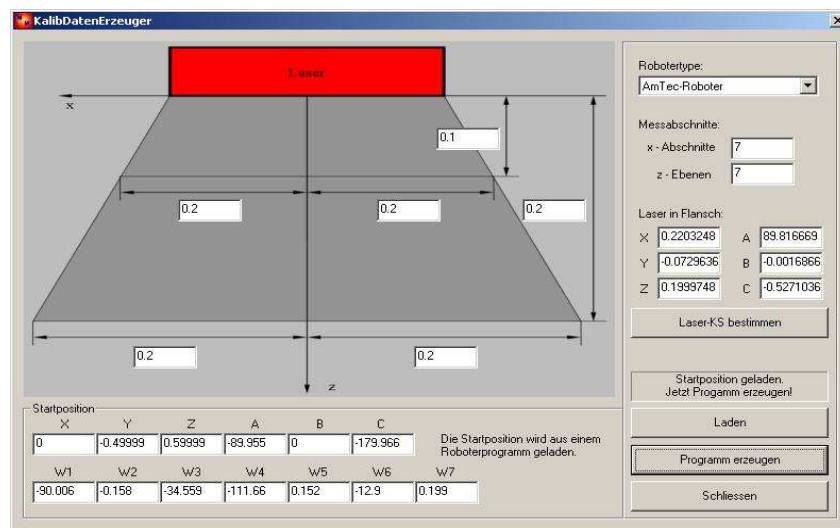
Hierzu sind auch optische Abstandssensoren vorgesehen, die sich durch geringen Platzbedarf und damit durch gute mechanische Integrierbarkeit auszeichnen und mit denen grundsätzlich durch gezieltes Abtasten mit dem Roboter gleiche Informationen wie mit o.g., komplexeren Sensoren gewonnen werden können – allerdings durch zusätzlichen Zeitaufwand und erweiterter Messbahnplanung.

### 3.3 Sensorkalibrierung

Sensoren liefern zunächst Primärinformationen in einem sensorspezifischen Format und müssen kalibriert werden. Hierfür sind vor Ort geeignete und einfache Mittel erforderlich, um turnusmäßige Nachkalibrierungen oder aber auch um diese flexibel bzgl. Meßbereich und Auflösung der aktuellen Applikation anpassen zu können.

Für den Laserlichtschnittsensor wurde ein einfach handhabbares und weitestgehend automatisiertes Verfahren entwickelt: Das kartesische Messkoordinatensystem (MKS) wird durch die Laserbene und mittels einfacher, mechanischer Stahlbegrenzer eindeutig festgelegt. Damit liegt ein „anfassbares“ MKS vor, das als „Roboter-Tool-Koordinatensystem“ mit Standardverfahren einfach bestimmt werden kann.

Die Primärmessdaten beziehen sich auf die (nicht direkt zugängliche) Kamera-Pixelebene, die über eine nichtlineare Transformation (Anordnung Kamera-Laser, Optik, Verzerrungen, etc.) in das MKS zu transformieren sind.



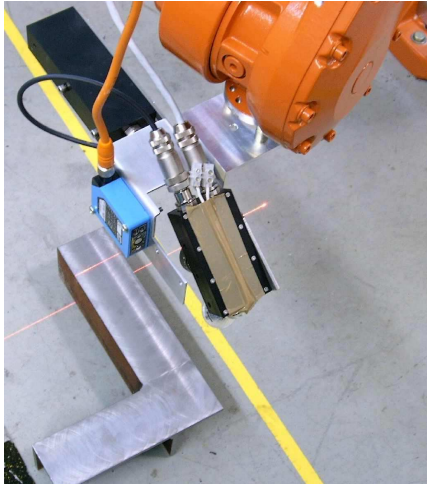
**Bild 6:** Programmieroberfläche für ein Roboterprogramm zur automatischen Kalibrierung des Laserlichtschnitt-Sensors.

Mit einfacher „Meßzung“ und einem Roboter-Meßprogramm wird diese komplexe Transformation automatisch generiert. Das Meßprogramm wird aus einer wählbaren Anfangslage des MKS zur Meßzung und Vorgaben des Meßbereiches generiert (s.Bild 7).

Nach gleichem Vorgehen können z.B. auch nichtlineare Kennlinien von Anstandssensoren unter Nutzung der vorhandenen Freiheitsgrade am Gerät direkt kalibriert werden.

### 3.4 Zellenkalibrierung

Die Zellenkalibrierung wird im engeren Sinne als Bestimmung der aktuellen Relativlagen (Koordinatensysteme) der Zellenkomponenten ( Maschine, Container, ... ) zu einem definierten Bezugssystem (z.B. Roboter-Basissystem) verstanden, die mit jeder erneuten Beistellung des Roboters oder der Container vorzunehmen ist, da im praktischen Betrieb mit Positioniertoleranzen zu rechnen ist. Robotersteuerungen bieten hierzu Teachhilfen an. Allerdings



**Bild 7:** Einfachste Kalibrierkörper

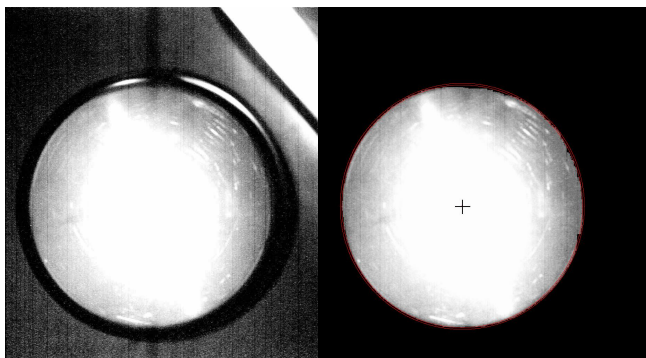
erfordert die exakte manuelle Positionierung Zeit und Übung, so dass vereinfachte automatisierte Verfahren im PORTHOS-Einsatzkonzept in wählbaren Automatisierungsgraden vorgesehen sind.

Erleichtert werden kann diese Prozedur durch manuelle Grobpositionierungen und sensorisch automatische Feinpositionierungen. Im weiteren Automatisierungsgrad reicht die Grobpositionierung zu einem definierten Startpunkt aus, um alle weiteren Schritte automatisch auszuführen. Bei hinreichend kleinen Positioniertoleranzen kann schließlich der Kalibriervorgang vollautomatisch erfolgen.

Im Bild 7 ist beispielhaft ein einfacher Kalibrierkörper als robuster Winkel gezeigt, der nach definiertem Anlegen an einen Container o.ä. die teil- und vollautomatische (auch für größere Positioniertoleranzen) Kalibrierung mittels Laserlichtschnittsensor oder mit einfachen Abstandssensoren mit zusätzlicher Roboterführung erlaubt.

### 3.5 Toleranzausgleich

Ein wesentlich größeres Aufgabenspektrum umfasst das Problem der Lagetoleranzen der zu handhabenden Objekte in den Zustellbehältern, erschwert durch begrenzte Einsicht und



**Bild 8:** Originalbild eines Topfbodens Auswertung

durch die Enge der Container, durch die Umgebungsbedingungen (z.B. schwankende Beleuchtungsverhältnisse) u.ä.m.. Ansatz ist hier die Entwicklung robuster Verfahren unter gezielter Nutzung der vorhanden a priori Informationen zu den aktuellen Objekten.

Bild 8 zeigt beispielhaft das Grauwert-

bild eines Topfbodens unter kritischen Beleuchtungsverhältnissen, der mit einem adaptiven Auswerteverfahren auch bei schwankenden Lichtverhältnissen detektiert wird und in Kombination mit dem Lichtschnittverfahren oder einfacher Abstandssensoren relevante Lageinformationen im Raum liefert. Im weiteren sollen auch einfache Abstandssensoren mit bahngesteuertem Scannen zur Lösung solcher Aufgaben untersucht werden.

Für strukturierte Objekte (z.B. Motorradrahmen) sind weitere Verfahren nach dem Laserlichtschnittverfahren (z.B. 3D-Detektion von Rohrlagen und -parameter) im Labor getestet worden.

#### **4. Ausblick**

Das gesamte PORTHOS-System befindet sich noch im Entwicklungsstadium, und es konnte zu diesem Zeitpunkt nur ein kurzer Abriss der vorgesehenen Entwicklungsstrategie sowie eine Momentaufnahme des Umsetzungsstandes skizziert werden. Die entwickelten Verfahren sind vorerst nur im Labor getestet. Eine erste Integration von sensorgestützten bis automatischen Kalibrierverfahren im PORTHOS-Prototypen erfolgte zur öffentlichen Demonstration des momentanen Gesamt-Entwicklungsstandes am 06.Mai d.J. im WZL der RWTH Aachen. Die weiteren Entwicklungsschritte betreffen einerseits die Integration der Sensorfunktionen und Konfigurationsroutinen in die Programmier- und Benutzerplattform [4] des PORTHOS-Systems wie auch die Weiterentwicklung der Sensortools mit den nächsten Zielen der Einsatzerprobungen beim Pilotanwender WMF AG in Geislingen sowie beim Pilotanwender BMW Motorrad AG/Berlin.

#### **5. Literatur**

- [1] Weck, M., Almeida, C.: „Porthos – Portable Handhabungssysteme für den ortsflexiblen Einsatz in der Produktion“ – Rahmenplan, 2002-11-15. Siehe auch die Projekt-Webseite: <http://www.porthos-roboter.de> .
- [2] Matthias, B. et. al.: Ein flexibles Robotersystem für Maschinenbeschickung und Materialhandhabung; Beitrag zum 2. Paderborner Workshop „Intelligente mechatronische Systeme“, 25.-26. März 2004, Paderborn.
- [3] Matthias, B. et. al.: „Flexibly Deployable Robot System for Varying Tasks in Machine Tending“, Proc. Robotik 2004, 17./18. Juni 2004, München.
- [4] Weck, M. et. al.: „Intuitiv bedienbare Programmiersysteme zur effizienten Programmierung von Handhabungsaufgaben“. Proc. Robotik 2004, 17./18. Juni 2004, München.