

## **PORTHOS – Ein hochflexibles Robotersystem für Beschickungsaufgaben**

**B. E. Matthias, F. Dai, S. Kock**

ABB AG Forschungszentrum Deutschland  
Wallstadter Str. 59, D-68526 Ladenburg  
Tel. +49 / 6203 / 716145, Fax. +49 / 6203 / 716412  
E-Mail: Bjoern.Matthias@de.abb.com

**K. Behnisch**

ABB Robotics GmbH  
Grüner Weg 6, D-61169 Friedberg  
Tel. +49 / 6031 / 85-645, Fax. +49 / 6031 / 85-297  
E-Mail: Kevin.Behnisch@de.abb.com

**S. Hoffmann, S. Prinz**

AUROB Automation + Roboter AG  
Am Gläschen 21, D-04420 Großlehna  
Tel. +49 / 34205 / 743-0, Fax. +49 / 34205 / 743-30  
E-Mail: Siegfried.Prinz@aurob.de

**N. Ahlbehrendt, M. Matern, A. Neumann**

Gesellschaft zur Förderung angewandter Mathematik e.V. (GFaI)  
Rudower Chaussee 30, D-12489 Berlin  
Tel. +49 / 30 / 6392-6590, Fax. +49 / 30 / 6392-6592  
E-Mail: Ahlbehrendt@gfai.de

**O. Görnemann**

SICK AG  
Schiess-Str. 56, D-40549 Düsseldorf  
Tel. +49 / 211 / 5301-260, Fax. +49 / 211 / 5301-146  
E-Mail: Otto.Goernemann@sick.de

**M. Herchel, S. Herchel, J. Hümmler, F. Nachbauer, B. Wieselmann**

Württembergische Metallwarenfabrik AG (WMF)  
Eberhardstr. , D-73309 Geislingen/Steige  
Tel. +49 / 7331 / 258145, Fax. +49 / 7331 / 258975  
E-Mail: Florian.Nachbauer@wmf.de

**C. Almeida, C. Brecher, A. Kahmen, B. Schröter**

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL)  
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen  
Steinbachstr. 53B, D-52074 Aachen  
Tel. +49 / 241 / 80-27410, Fax. +49 / 241 / 80-22293  
E-Mail: A.Kahmen@wzl.rwth-aachen.de

## **Zusammenfassung**

Der Einsatz von Industrierobotern wird häufig von einem hohen Anfangsaufwand für Installation und Programmierung begleitet. Insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen rechnet sich in vielen Fällen die Investition eines festinstallierten und für eine Anwendung speziell eingerichteten Roboters nicht, da Fertigungstückzahlen relativ klein sind und die Auslastung eines Roboters an einer einzigen Aufgabe zu gering wäre. Dieser Beitrag präsentiert ein Konzept für den flexiblen Einsatz eines Robotersystems, das sich schnell von einer Arbeitsstation zu einer anderen transportieren und für verschiedene Werkstücke und Maschinen anpassen lässt. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ (Förderkennzeichen 02PH2020) gefördert und vom Projektträger des BMBF für Produktion und Fertigungstechnologien (PFT), Forschungszentrum Karlsruhe betreut.

## **Schlüsselwörter**

Industrieroboter, Maschinenbeschickung, Flexibilität, Produktionsassistent, Adaptivität

## 1 Einleitung

Heutzutage kommen Industrieroboter hauptsächlich bei der automatisierten Fertigung von Großserienprodukten bei größeren Unternehmen zum Einsatz. Sind solche Systeme einmal eingerichtet, laufen sie zuverlässig mit hoher Geschwindigkeit und hoher Genauigkeit störungsarm über lange Zeiträume. Wenn diese Systeme hoch ausgelastet sind, können sie sich sehr schnell bezahlt machen.

In kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sind jedoch die Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Einsatz von Industrierobotern schwieriger zu erreichen. Dort erfolgt z.B. der Arbeitsschritt der Beschickung von Werkzeugmaschinen oder Pressen oft noch manuell. Bei dem für KMU typischen häufigen Wechsel der Auftragslage und bei den vergleichsweise kleinen Losgrößen ist der Einsatz von gängigen festinstallierten, für eine Aufgabe eingerichteten Industrierobotersystemen normalerweise nicht rentabel. Eine akzeptable Auslastung eines Robotersystems ist in dieser Umgebung kaum möglich. Darüber hinaus erfordert die Bedienung von Industrierobotern Fachwissen, die in einem kleinen Unternehmen nicht realistisch vorgehalten werden kann.

Roboteranwendungen für Handhabung und Maschinenbeschickung werden üblicherweise von Experten für den individuellen Einsatz geplant, installiert und programmiert. Die Roboter werden auf dem Boden oder auf Tragekonstruktionen fest montiert. Für den Personenschutz sind Sicherheitszäune oder statisch angebrachte Sicherheitssensoren vorgeschrieben, die das Eindringen von Personen in den Arbeitsbereich des bewegten Roboters verhindern. Die Greiftechnik wird meistens spezialisiert für jedes Werkstück und jeden Arbeitsschritt ausgelegt. Für die vorgesehenen Aufgaben ist der Roboter jeweils speziell zu programmieren.

Um den Zugang zur Verwendung von Industrierobotern zu erleichtern, ist es notwendig, die Bedienbarkeit und die Flexibilität von Robotersystemen noch weiter zu verbessern. Gerade das hohe Flexibilitätspotential von Industrierobotern kann noch vorteilhafter verwendet werden, um eine Anpassungsfähigkeit eines Systems je nach Bedarf an verschiedene Aufgaben zu erreichen. Bei geringem Aufwand für Einrichtung und Programmierung soll die Auslastung eines Systems dadurch möglichst hoch gehalten werden, dass es je nach Bedarf temporär an einer von mehreren Stationen einen automatischen Arbeitsablauf ausführen kann.

Unsere Herausforderung ist, ein System zu schaffen, das unter diesen Randbedingungen wirtschaftlich arbeitet [Matt04]. Die Entwicklung und prototypische Verifikation eines solchen Systems ist das Ziel des vom BMBF unterstützten Verbundprojekts „Porthos – Portable Handhabungssysteme für den ortsflexiblen Einsatz in der Produktion“.

## 2 Das Porthos-System bei der WMF

Die sehr hohen Flexibilitätsanforderungen an Industrierobotersysteme für KMU erfordern ein leicht zu versetzendes Robotersystem, das auf einfache Weise in verschiedenen Bearbeitungszellen eingesetzt werden kann, sich automatisch an seine neue Umgebung anpasst, intuitiv programmiert wird und seinen Gefahrenbereich mittels Sensoren überwacht. Das Porthos-Projekt hat sich demnach folgende Teilziele gesetzt:

- **Portabilität** des Gesamtsystems mit Roboter, Steuerung, Sicherheitstechnik und Zubehör
- Nutzung von mitgeführter **Sicherheitssensorik** zur Wahrung der Personensicherheit im Umfeld des laufenden Systems
- Intuitive, schnelle und sichere **Programmierung und Bedienung**, sowie eine Teilautomatisierung der Einrichtung und Einmessung von Zellenkomponenten durch Zwangsvorrichtungen und durch Sensorik
- Erhöhung der Einsatzvielfalt und der Betriebssicherheit durch flexible, **sensorbasierte Greiftechnik**
- Schaffung einer einheitlichen **Kommunikationsplattform** zum Signal- und Informationsaustausch mit anderen Maschinen in einer Fertigungszelle

Die Entwicklung der Lösungen zu diesen Anforderungen wurde durchweg geleitet von der Perspektive der ersten Anwendung bei WMF. Dort wird Anfang 2005 ein Porthos System einige Wochen lang bei der Beschickung von Pressen in der realen Produktion getestet.

Nachfolgend wird zuerst kurz auf die anstehende Anwendung und dann auf dieses Pilotsystem im Detail eingegangen.

### 2.1 Anforderung: Beschicken von Pressen

Ein wesentlicher Teil der Fertigungsprozesse bei der WMF beinhalten das Ziehen, Formen oder Prägen von Rohteilen in Pressen verschiedener Art. Wegen der Vielfalt der Produkte, der variierenden Losgrößen, sowie der Komplexität des Beschickungsvorgangs werden die Pressen bis jetzt manuell beschickt.

Das Ziel unserer Erstanwendung ist das Beschicken zweier Pressen, die Arbeitsgänge in der Fertigung von Rühröpfen für Küchenmaschinen durchführen. Beide Einsatzfälle entsprechen in ihrem Ablauf grob dem Schema der prototypischen Beschickungsaufgabe, wie in Abbildung 1 dargestellt.

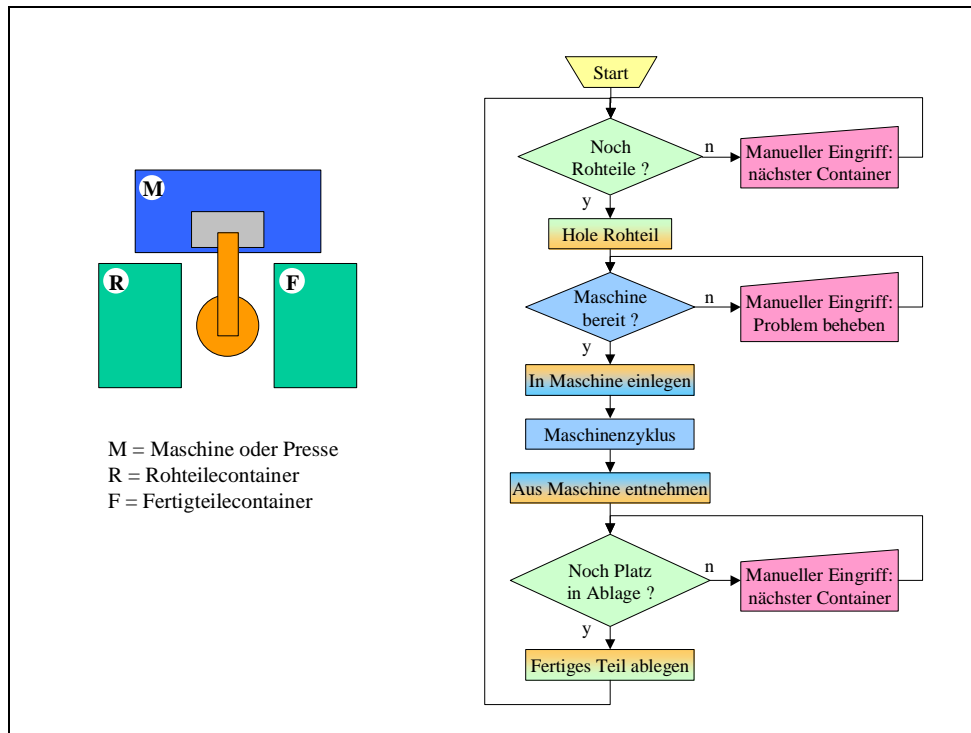


Abbildung 1: Grundschemata des Beschickungsprozesses an einer Maschine bzw. Presse.

Beispielhaft wird die Anwendung an einer Exzenterpresse genannt. Hier wird der noch verbliebene überstehende Rand eines tiefgezogenen Edelstahltopfs abgeschnitten. Bilder der Teile vor und nach dem Arbeitsgang und des abgeschnittenen Randes sind in Abbildung 2 wiedergegeben.



Abbildung 2: Topf (a) vor dem Arbeitsgang "Rand beschneiden" und (b) danach. In (c) ist der abgeschnittene Rand zu sehen (WMF).

Abbildung 3 zeigt ein Foto der Presse, an der dieser Arbeitsgang ausgeführt wird. Links und rechts der Presse stehen die Gitterboxen, in denen die unbearbeiteten Töpfe zugeführt bzw. die bearbeiteten abgelegt werden.



Abbildung 3: Blick auf die Beschneidepresse (WMF)

Ein manuell ausgeführter Zyklus an dieser Presse dauert etwa 20 Sekunden vom Aufnehmen des Rohteils bis zum Ablegen des Fertigteils. Die Erprobung des Porthos Systems findet vorrangig zuerst an dieser Presse statt.

## 2.2 Systemeigenschaft: Flexibilität des Aufstellungsorts

Die Trägerplattform ist die Klammer um das Gesamtsystem. Mit ihr wird es als Ganzes von einem Aufstellungsort zum anderen per Hubwagen transportiert. Damit das Versetzen des Porthos Systems von einem Aufstellungsort an einen anderen, wo eine neue Aufgabe zu automatisieren ist, möglichst einfach und schnell geht, sind auf dieser Plattform alle Komponenten aufgebaut und integriert (s. Abbildung 4). An jedem Aufstellungsort sind, neben der Befestigung am Boden, lediglich Anschlüsse für Energie, Kommunikation (Netzwerk, diskrete Signale) und Medien (z.B. Druckluft) notwendig.

Das Gesamtgewicht des Systems inklusive Plattform, Roboter, Steuerung, sicherheitstechnische Aufbauten, Industrie-PC und Bedienschirm liegt deutlich unter 2000 kg. Damit ist es ohne weiteres mit einem handelsüblichen manuellen Hubwagen aufzunehmen und von einem an einen anderen Standort zu transportieren. Das schnelle und einfache Versetzen des Porthos Systems ist der Schlüssel zu seiner hohen Auslastung und trägt damit entscheidend zu seiner Wirtschaftlichkeit bei.

Im einzelnen sind auf der Plattform montiert:

- Aufbauten, welche die Laserscanner für das mitgeführte sensorische Personensicherheitssystem tragen

- Feste Anschläge und Arretierhebel zum definierten Positionieren der Gitterwagen links und rechts der Plattform
- Integrierter Aufbau mit berührungsempfindlichem Bedienerbildschirm („touch screen“) und zusätzlichem Industrie-PC (hinter der Robotersteuerung)

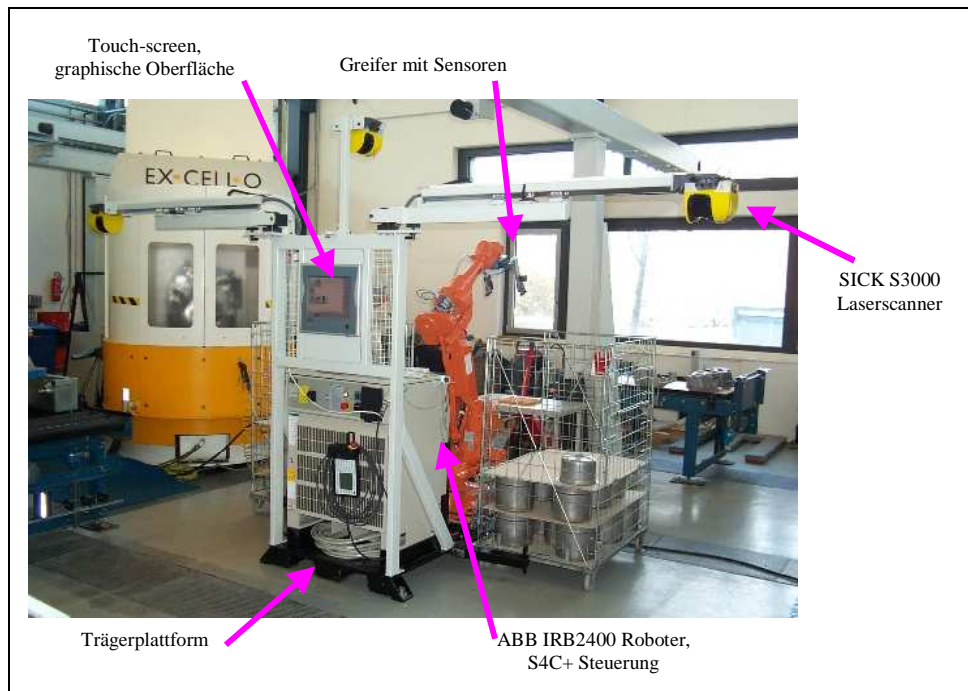


Abbildung 4: Übersicht über das Porthos System wie es für die Pilotanwendung bei der WMF aufgebaut worden ist (Maschinenhalle WZL).

Vor dem Abstellen der Plattform an einem vorgesehenen Standort sind dort in den Hallenboden Aufnahmehülsen und Dübel zu betonieren, damit daran die Plattform sicher befestigt werden kann, um Kräfte und Momente in den Boden einzuleiten.

Die Bohrlochpositionen für die Bodenhülsen werden mit einer Lehre markiert, um hinreichende Genauigkeit zu bekommen. Die ist notwendig, damit die Plattform durch konische Zentrierdorne an zwei von vier Ecken auf etwa 1 mm reproduzierbar abgestellt werden kann. Damit ist für wiederholtes Aufstellen an einem bestimmten Ort die Toleranz aufgrund der Plattformposition geringer als die Unsicherheit der Position der Werkstücke in den Transportbehältern und Gitterboxen.

### 2.3 Systemeigenschaft: Sicherheit

Die Aufbauten für die Sicherheitssensoren sowie für den Bedienerbildschirm des Porthos-Systems sind fest mit dieser Trägerplattform verbunden (siehe Abbildung 4). Die seitlichen Ausleger erlauben das senkrechte Schutzfeld der zwei seitlichen

Laserscanner im Bereich bis etwa 1500 mm Abstand von der Plattform einzurichten. Damit ist eine Anpassung der Schutzfelder an verschiedene Einsatzumgebungen möglich. Der Schutzbereich des dritten Laserscanners deckt die Ebene direkt hinter dem Bedienerbildschirm ab.

## 2.4 Systemeigenschaft: Anwenderfreundliche Bedienung

Für eine optimale Unterstützung der Anwendung des Porthos Systems, speziell im KMU Umfeld, werden folgende Eigenschaften vom Programmier- und Bediensystem gefordert:

- Geringe Qualifikationsanforderung mit Unterstützung des Programmierers/Bedieners in jeder Phase
- Aufgabenorientierte Programmerstellung
- Halb-automatischer, angeleiteter „Teach-Auftrag“ statt herkömmlichem Teach-In; teilautomatisierte Vermessung von Zellenkomponenten
- Einfache Erweiterbarkeit des Programmiersystems um weitere Zellenkomponenten

Bei der Neueinrichtung einer zu automatisierenden Zelle, ist ein Bediener mit gewissen Robotik-Vorkenntnissen gefragt. Unterstützt durch die graphische Menüführung definiert er notwendige Zellenkomponenten und ihre Eigenschaften (s. Abbildung 5). Die so definierte Porthos-Anwendung lässt sich auch für spätere Wiederverwendung abspeichern. Die Programmierung des Ablaufs der Anwendung ist als Flussdiagramm gestaltet (s. Abbildung 5).

Mit bereits so vordefinierten Anwendungen, die aus dem Speicher zu laden sind, kann später ein angelernter Bediener mit wenigen Handgriffen eine bereits definierte Anwendung einlesen, die Zellenkomponenten nachkalibrieren und die Anwendung starten.

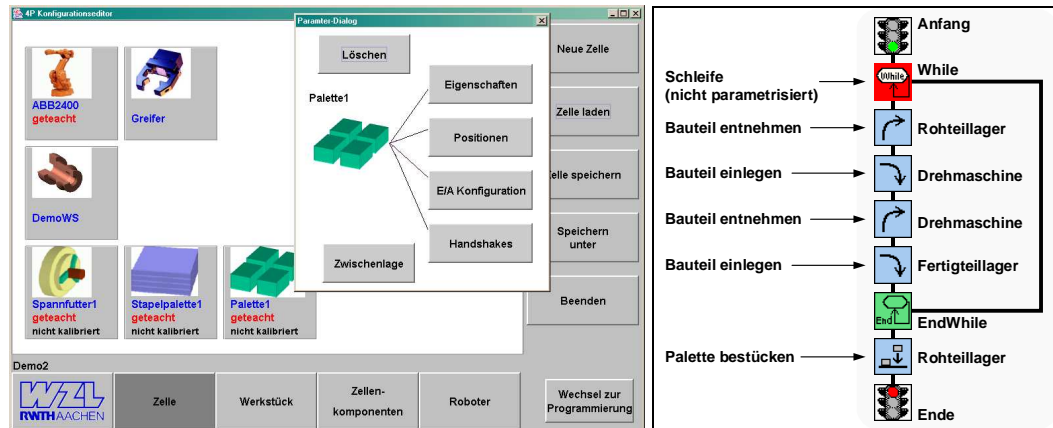


Abbildung 5: Oberfläche zur Modellierung einer Roboterzelle und Roboterprogramm-Darstellung im Programmiersystem.

## 2.5 Systemeigenschaft: Anpassungsfähigkeit an Werkstück und Zelle

Der flexible Einsatz des Robotersystems bedeutet neben Ortsflexibilität vor allem, dass der Roboter unterschiedliche Aufgaben ausführen kann. Das heißt, er muss in verschiedenen Situationen (Zellenkonfiguration, Arbeitsmittelpositionen, etc.) verschiedene Werkstücke handhaben. Dies setzt sowohl sensorische Umgebungs- und Werkstückdaten als auch anpassungsfähige Greifelemente voraus. Der für die Pressenbeschickungsanwendungen entwickelte Multifunktionsgreifer ist in Abbildung 6 dargestellt.

Mit diesem Greifer sind alle vier wichtigen Funktionen in den WMF Anwendungen möglich:

- Greifen der Töpfe vom Ende, für Entnahme aus und Ablage in Gitterboxen
- Greifen der Töpfe von der Seite für das Einlegen in und Entnehmen aus der Presse
- Greifen des abgeschnittenen Materials vom Pressenwerkzeug (nicht im Bild gezeigt)
- Ansaugen der Trennpappen zwischen den Teilelagen in den Gitterboxen (nicht im Bild gezeigt)

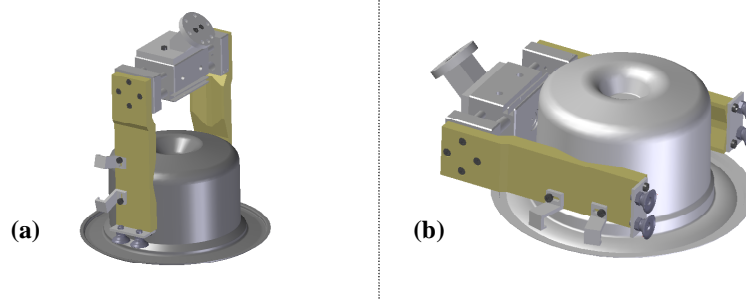


Abbildung 6: Greifkonfiguration (a) für Entnahme aus und Ablage der Töpfe in der Gitterbox. Greifkonfiguration (b) für Einlegen der Töpfe in und Entnahme aus der Presse. Der seitliche Zugriff wird durch den geringen Pressenhub notwendig gemacht

Im Projekt Porthos werden beispielhaft die sensorgestützte bis automatische Kalibrierung und der sensorgestützte Toleranzausgleich in unterschiedlichen Kombinationen und Auslegungen bezüglich Verfahren und Messwertgeber entwickelt und erprobt. Im Falle der Pilotanlage bei der WMF werden ein Abstandssensor und ein Kontrastsensor eingesetzt (s. Abbildung 7).



Kontrastsensor

Abstandssensor

Abbildung 7: Multifunktionaler Greifer mit Abstands- und Kontrastsensoren.

Mit dem Laserabstandssensor OD250 (SICK) lassen sich sowohl wichtige Zellenkomponenten, wie das Pressenwerkzeug, in ihrer Lage vermessen als auch die Positionen der Werkstücke vor der Aufnahme mit dem Greifer bestimmen. Da dieser Sensor am Greifer montiert ist, kann der Roboter für verschiedene Messungen den Sensor geeignet positionieren.

Der Kontrastsensor KT5L (SICK) wird benötigt, um die auf den Töpfen mit schwarzen Strichen markierte Walzrichtung des Ausgangsmaterials zu erkennen. Damit im Pressengang keine unerwünschten Verformungen oder gar Risse im Material auftauchen, ist es wichtig, die Töpfe bezüglich der Walzrichtung ihres Materials geeignet in die Presse einzulegen. Auch dieser Sensor ist am Greifer angebracht.

### **3 Voraussichtliche Erkenntnisse aus der Erstanwendung**

Da sich das Pilotsystem in der realen Produktionsumgebung bewähren muss erwarten wir aufschlussreiche Informationen, wie diese erste Anlagenversion verbessert werden müsste, um besser und in einem breiteren Applikationsfeld bestehen zu können. In der letzten Phase des Verbundprojekts Porthos sollen eben diese Erfahrungen in das Systemkonzept eingebracht werden und eine zweite Anlagenversion entstehen, in der bereits die „Kinderkrankheiten“ ausgestanden sind.

#### **3.1 Zuverlässigkeit**

Bei der Betrachtung der Zuverlässigkeit betrachten wir sowohl die Fehlerhäufigkeit als auch den Zeitaufwand, um die auftretenden Störungen zu beheben. Dem Bediener werden vom Programmiersystem Informationen zur Unterstützung bei der Fehlerkorrektur angeboten.

#### **3.2 Bedienung und Akzeptanz**

Damit ein komplexes technisches System wie die Porthos Roboterplattform in der Umgebung eines fertigenden Betriebs bestehen kann, ist es unabdingbar, dass bei den Einrichtern, Bedienern und den Werkern, die mit dem System arbeiten müssen, eine Akzeptanz entsteht. Dabei spielen sowohl rein technische Aspekte eine Rolle – z.B. wie zuverlässig das System ist oder wie einfach Störungen zu beheben sind – aber es prägt auch der erste subjektive Gesamteindruck. Diesen gilt es möglichst positiv zu gestalten.

### 3.3 Wirtschaftlichkeit

Auch bei technischem Erfolg erfüllt das Porthos System nur dann seine Bestimmung, wenn die wirtschaftliche Betrachtung positiv ausfällt. Potentiell kann hier Vorteil entstehen dadurch, dass das Robotersystem Auftragsspitzen abarbeiten kann, wofür vorher kein Personal verfügbar war oder für das kein Personal mehr vorgehalten werden kann. Welche weiteren Faktoren in dieser Betrachtung wichtig sind muss man durch die Auswertung der Produktionstests bestimmen. Diese Ergebnisse werden voraussichtlich Ende März 2005 verfügbar.

## 4 Zusammenfassung

Wir haben ein hochflexibles Robotersystem für Maschinen- und Pressenbeschickungsaufgaben entworfen und gebaut, das sich auszeichnet durch:

- Leichte Bedienbarkeit, auch für Nicht-Spezialisten
- Integration auf einer Plattform, was das Versetzen von einem zu anderen Aufstellungsorten sehr einfach und schnell erlaubt
- Anpassungsfähigkeit an neue Aufgaben und Zellenumgebungen durch teilautomatische Einrichtung und die gezielte Verwendung relativ einfacher Sensorischer Information

Die Pilotanwendung dieses Systems bei der WMF in Geislingen/Steige steht kurz bevor. Die Erfahrungen daraus werden die abschließenden Entwicklungen im Verbundprojekt Porthos lenken. Es wird ein revidiertes System entstehen, das für vielfältigen Einsatz bereit ist und in dem die Fehler der ersten Generation bereits korrigiert sind.

Durch den Erfolg des Porthos Konzepts werden sich verstärkt Möglichkeiten ergeben, in KMU wirtschaftlich sinnvolle Beschickungsautomatisierungen aufzubauen.

## Literatur

- [Matt04] B. Matthias et al., Ein flexibles Robotersystem für Maschinenbeschickung und Materialhandhabung, Beitrag zum 2. Paderborner Workshop "Intelligente mechatronische Systeme", 25.-26. März 2004
- [BAS04] C. Brecher, C. Almeida, B. Schröter, Ein Porthos für alle Fälle – Wirtschaftlicher Einsatz von Robotern in kleinen und mittelständischen Unternehmen, Industrieanzeiger **2004-023**, S. 66 (2004).
- [Bre04] C. Brecher et al., Portables Robotersystem zur wirtschaftlichen Durchführung wechselnder Handhabungsaufgaben, VDI-Zeitschrift 2004-07-15 (2004).

- [BSA04] C. Brecher et al., Intuitiv bedienbare Programmiersysteme zur effizienten Programmierung von Handhabungsaufgaben, VDI Berichte Nr. **1841**, 303-310 (2004).
- [AhI04] N. Ahlbehrendt et al., Sensortechnik für den ortsflexiblen Robotereinsatz, VDI Berichte Nr. **1841**, 559-566 (2004).
- [MDH04] B. Matthias et al., Ein flexibel einsetzbares Robotersystem für variierende Aufgaben in der Maschinenbeschickung, VDI Berichte Nr. **1841**, 567-574 (2004).