

Information zum Referenten:

Dipl. Masch. – Ing. ETH

Stephan Maag



Studium

Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Schweiz

- Dipl. Ing. ETH Maschinenbau, Robotik und Produktentwicklung

Berufliche Karriere

Sulzer Electronics (Linmot), Zürich, Schweiz

- Neue Technologien und Innovation

Curtiss-Wright Antriebstechnik GmbH, Neuhausen am Rheinfall, Schweiz

- Entwicklung der firmeninternen System- und Getriebeauslegungssoftware

Institut für Mechatronische Systeme, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Schweiz

- Projektleitung und Entwicklung in Mechatronik- und Robotik-Projekten

H.A. Schlatter AG, Schlieren, Schweiz

- Entwicklungsingenieur, Technik und Innovation (seit Juli 2007)

Untersuchung durchgeführt am

Institut für Mechatronische Systeme, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Schweiz
ims@zhaw.ch <http://www.ims.zhaw.ch>

Derzeitiger Arbeitgeber

H.A. Schlatter AG, Schlieren, Schweiz

stephan.maag@schlatter.ch <http://www.schlatter.ch>

Untersuchung der Bedürfnisse und Anforderungen von KMU an neuartige, flexible und moderne Robotersysteme

Stephan Maag, H.A. Schlatter AG

Richard Hüppi, Wernher van de Venn, Institut für Mechatronische Systeme, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Zusammenfassung

Während der Einsatz von Industrierobotern in grösseren Firmen heute zum Stand der Technik gehört, ist deren Verwendung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) weit weniger verbreitet. Für die mangelnde Verbreitung wird der hohe Initialaufwand für Installation und Programmierung der Robotertechnik als Hauptgrund angeführt. Dieser Aufwand rechnet sich nicht für kleinere, in vielen KMU übliche Stückzahlen.

Die folgende Arbeit beschreibt die im Rahmen des EU-Forschungsprojekts ARFLEX [1] durchgeführten Untersuchungen über die Bedürfnisse von Schweizer KMU in Bezug auf den Gewinn bringenden Einsatz moderner Robotertechnik. Dazu wurden spezifische, auch für den Nicht-Robotikfachmann verständliche Robotereigenschaften formuliert und in einem Fragebogen zusammengestellt. Die Eigenschaften beschreiben sowohl heute übliche Roboterkenngrossen wie Genauigkeit, Arbeitsraum, Nutzlast usw. als auch bisher noch nicht standardmässig in Robotersystemen zu findende Eigenschaften wie beispielsweise Compliance, Fügemöglichkeit, sichere Robotik, Assistenzverhalten, kraft-geregelte Operationen oder auch eine sehr einfache Teachmöglichkeit des Roboters.

Die Resultate waren gleichermassen überraschend wie bahnbrechend. Die klassischen Roboterkenngrossen wie Genauigkeit oder Bahntreue werden nicht mehr als die wichtigsten Eigenschaften von Robotern identifiziert. Dies wohl deshalb, weil die aktuelle Generation der Industrieroboter in diesem Bereich schon sehr gut entwickelt ist. Zudem ermöglichten die Untersuchungen, klare Aussagen über Schlüsselanwendungen und Eigenschaften für die KMU-Robotik zu machen. Die entwickelten Massstäbe zeigen klar, welche der verbesserten oder neuen Robotereigenschaften zu einer vermehrten Anwendung von Robotern in KMU führen können.

1 Einleitung

Existierende Roboterautomationslösungen sind in KMU nur dort Gewinn bringend realisiert, wo genügend grosse Serien hergestellt werden und somit die relativ aufwendigen Installationen der Roboteranlagen innert nützlicher Frist amortisiert werden können. Die geringeren Stückzahlen und die höhere Produktvariabilität der in KMU häufig hergestellten Produkte sind oft der Grund, dass Industrieroboter nicht profitabel eingesetzt werden können.

Würde man nun die Roboter mit Eigenschaften ausstatten, welche einen andersartigen, eventuell schnelleren und effizienteren Einsatz eines Roboters ermöglichen, könnten neue Marktsegmente für den Absatz von Industrierobotern geschaffen werden.

Um zu untersuchen, welche neuen oder verbesserten Robotereigenschaften nötig wären, um Roboter für einen effizienten Einsatz in KMU fit zu machen, wurde im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts ARFLEX untersucht, welches die spezifischen Bedürfnisse der direkten Anwender in den KMU sind.

Eine Schwierigkeit dieser Untersuchung war es, die neuen Robotereigenschaften so darzustellen, dass der Befragte den Nutzen und aber auch die Grenzen der neuen Technologie verstehen kann. Er soll so in der Lage sein, mögliche Prozesse, die sich für eine Automatisierung mittels Roboter eignen, innerhalb seines Betriebes identifizieren zu können. Ein aussagekräftiges Resultat der Befragung ist also nur durch die Behandlung der Kombination von technischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten im Dialog mit dem Anwender möglich. Deshalb wurde die Untersuchung von Fachleuten mit betriebswirtschaftlichem Hintergrund unterstützt [2].

Die so gewonnenen Daten wurden danach bezüglich der Eignung für jede einzelne Applikation bewertet. Um die Bedeutung einer Eigenschaft absolut festzustellen, wurde die Anzahl möglicher Applikationen pro Eigenschaft abgeleitet. Für verschiedene der relevantesten Eigenschaften wurden dann Schlüsselapplikationen formuliert, für welche Roboterhersteller mit spezifischen, auf KMU zugeschnittenen Robotern neue Märkte erschliessen können.

1.1 Marktuntersuchung

Die Marktuntersuchung hatte zum Ziel, die Bedürfnisse für den Robotereinsatz in kleineren und mittleren Unternehmen zu erfassen und zu bewerten. Einerseits wurden Firmen befragt, die bis anhin noch keine Roboter einsetzen, um herauszufinden, welche Eigenschaften Roboter haben müssten, um für einen Einsatz in ihrem Unternehmen in Frage zu kommen. Andererseits wurden Firmen befragt, welche bereits einzelne Aufgaben mit der Hilfe von Robotern erledigen. Dabei interessierten speziell jene Aspekte, welche für eine Anwendung in KMU wichtig sind und welche dieser Robotereigenschaften letztendlich zum Kaufentscheid des Roboters geführt haben.

Ein weiteres Ziel der Marktuntersuchung war es, die Grenzen der heutigen Industrieroboter in Bezug auf eine Anwendung für die in KMU am häufigsten vorkommenden Verarbeitungsvorgänge aufzuzeigen, um herauszufinden, warum der grössere Teil der Schweizer KMU bis heute keine Roboter zur Automatisierung einsetzt.

Die gesammelten Daten beinhalten auch Vorschläge für zukünftige Roboterapplikationen, welche mit neuer Robotertechnologie realisiert werden könnten. Die in der Untersuchung erarbeitete Bewertung der Robotereigenschaften und die Untersuchung der Rentabilitätskriterien solcher Anwendungen können als Benchmark für zukünftige Innovationen im Bereich KMU-Robotik dienen.

Für die Untersuchung wurden verschiedene KMU aus dem Schweizer Markt als sogenannte "Lead User" identifiziert. Diese sind wie folgt charakterisiert:

Lead user Charakteristik
Breite Marktübersicht
Repräsentativ für die mögliche Zielgruppe des ARFLEX Projekts
Zukunftsorientiertes Denken und Handeln
Meinungsführer im eigenen Marktsegment

Tabelle 1: Lead user Charakteristik

Zur Durchführung der Marktstudie wurde ein Fragebogen mit zwanzig standardisierten Fragen entwickelt, welcher als Leitfaden für die Interviews mit den ausgewählten KMU aus dem Gebiet der deutschen Schweiz diente. Die Antworten wurden mittels der Quality-Function-Deployment Methode analysiert (siehe Kapitel 2.4).

1.2 Vorgehensweise

Die produzierenden Schweizer KMU wurden mittels zweier verschiedener Ansätze untersucht. Auf der einen Seite wurden direkt Roboteranwender kontaktiert und deren Produktionsmethoden hinsichtlich Roboterautomatisierung näher untersucht.

Auf der anderen Seite wurden professionelle Marketingdatenbanken durchsucht um einen Überblick über die produzierende Schweizer Industrie zu erhalten [3], [4]. Nach dem Ordnen dieser Firmen nach ihrem Industriesektor und der Anzahl Mitarbeiter, wurden aus jedem Industriesektor mindestens fünf Firmen interviewt, um eine korrekte Marktübersicht zu erhalten.

In Kapitel 2 sind die Resultate dieser Interviews bezüglich ihrer ökonomisch und technisch interessierenden Qualitäten einzeln dargestellt. Mögliche neue Anwendungen werden in Kapitel 3 beschrieben.

1.3 Resultate

Die Notwendigkeit, die Roboterumgebung für einen autonomen Roboterbetrieb sehr stark strukturieren zu müssen und diese durch eine Roboterzelle von der Umwelt abtrennen zu müssen, macht einen Robotereinsatz für kleinere Stückzahlen wie sie in KMU häufig vorkommen unattraktiv. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass ein käfigloser Assistenzbetrieb von Robotersystemen ein häufig genannter Wunsch war. Generell wurden flexiblere Robotersysteme verlangt bei welchen nicht für jede Layout-änderung Robotikfachleute beigezogen werden müssen d. h., ein einfaches intuitives Teaching ist ein Muss. Die für diese Flexibilität benötigten Technologien wie z. B. sichere Robotersteuerungen, sensorgeführte Roboterbewegungen, der Einsatz von Kraftsensoren und modernster 3D-Sensortechnologien sind teilweise bereits Realität oder aber Thema der aktuellen Forschung (z.B. im bereits erwähnten ARFLEX Projekt).

2 Anforderungen an Robotik in KMU

Während den Interviews und in der Diskussion mit den möglichen zukünftigen Anwendern der KMU Robotik wurde näher auf die einzelnen Funktionen zukünftiger Roboter und auf deren Anwendbarkeit eingegangen. Auf die einzelnen Robotereigenschaften sowie die Resultate der direkten Befragung wird in Kapitel 2.2 näher eingegangen. Die direkte Konfrontation mit den Robotereigenschaften diente hauptsächlich dazu, Unklarheiten bezüglich der sehr technischen Möglichkeiten zu beseitigen und den Rahmen der Untersuchung schon am Anfang des Interviews klar zu kommunizieren. Trotzdem sind die Resultate der direkten Befragung zum Quervergleich im Kapitel 2.2 mit aufgeführt.

Für die eigentliche Befragung wurde die Methode des Quality Function Deployment gewählt, welche es erlaubt, Kundenbedürfnisse in technische Anforderungen zu übersetzen, ohne dabei technische Abhängigkeiten zu vernachlässigen. Die Methode wurde hier verwendet, um die Interviewpartner von technischen Sachzwängen zu entlasten und damit die Robustheit der Resultate stark zu erhöhen. Die Durchführung des QFD und die entsprechenden Resultate sind in Kapitel 2.4 beschrieben. Neben den gezielt herausgearbeiteten Kundenbedürfnissen wurden vonseiten der Interviewpartner jedoch auch direkte Bedürfnisse geäußert, welche im folgenden Kapitel kurz zusammengefasst werden.

2.1 Direkt geäußerte Bedürfnisse

Die Interviewpartner wurden im Verlaufe des Gesprächs auch zu eigenen Verbesserungsvorschlägen und Wünschen befragt. Sie äusserten dabei vielfältige Ansprüche an die Robotersoftware, CAD-Tools und Programmierfähigkeit des Roboters sowie an die Schnittstellen und Anschlüsse.

Was die Simulationsumgebungen angeht, so war es den bestehenden Roboternutzern ein grosses Anliegen, in Zukunft die Möglichkeit zu haben, den optimalen Standort des Roboters innerhalb der geplanten Anlage auch über eine komplette Roboterfamilie hinweg berechnen zu können. Dies unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Reichweiten, Zykluszeiten und spezieller Gegebenheiten für eine Reihe von verschiedenen Robotern. Auch wurden die Softwareunterstützung zur Zykluszeitoptimierung und die CAD-Anbindung bemängelt. Es wurde eine Simulationsumgebung gewünscht, welche sich in alle gängigen CAD Umgebung integrieren lässt oder welche alle gängigen 3D CAD Dateiformate importieren kann.

Für die Programmierung des Roboters wurde nach einer einfachen Programmiersprache gefragt, welche die Möglichkeit bietet, spezielle Bedingungen, Zustände und Einschränkungen auf einem höheren Programmierlevel zu definieren. Auch ein online Update des Programms, welches im folgenden Zyklus direkt ausgeführt wird, würde die Programmierung stark erleichtern. Eine Programmierung von Umgebungshindernissen, welche den Industrieroboter in die Lage versetzt, nach dem Zurückschalten aus dem Teachmode eine sichere Bahn zurück an seinen Ausgangspunkt zu finden, würde diese Produktinnovation sinnvoll ergänzen.

Es wurden Wünsche geäußert, dass sich Roboter an die gleichen Schnittstellen Standards wie die umgebenden Maschinen halten sollten. Insbesondere wurde die schwierige Integration gängiger Bildverarbeitungs- und Visionsysteme thematisiert.

Hardwareseitig wurde neben den Wünschen nach höherer Rechenleistung und Speicherkapazität vor allem das Bedürfnis nach einer kompakteren mechanischen Roboterstruktur geäußert, welche für die engen Platzverhältnisse in der Produktion besser geeignet wäre. Auch integrierte Stromversorgungs-, Pneumatik- und Signalanschlüsse am Flansch wären für den Kunden sehr wünschenswert.

2.2 Funktionalität

Die vorgeschlagenen Robotereigenschaften, welche in der Untersuchung berücksichtigt wurden, sind im Folgenden beschrieben. Obwohl die direkte Konfrontation mit den Robotereigenschaften am Anfang des Gespräches hauptsächlich dazu diente, Unklarheiten bezüglich der sehr technischen Möglichkeiten zukünftiger Robotiklösungen zu beseitigen und den Rahmen der Untersuchung schon früh im Gespräch klar zu kommunizieren, illustriert Abbildung 1 die durchschnittlich verteilte Gewichtung durch die Befragten für die einzelnen Eigenschaften. Zu beachten ist, dass für die eigentliche Auswertung nur die Erhebung mit der Methode des Quality Function Deployment verwendet wurde, welche wesentlich robustere und aussagekräftigere Ergebnisse liefert.

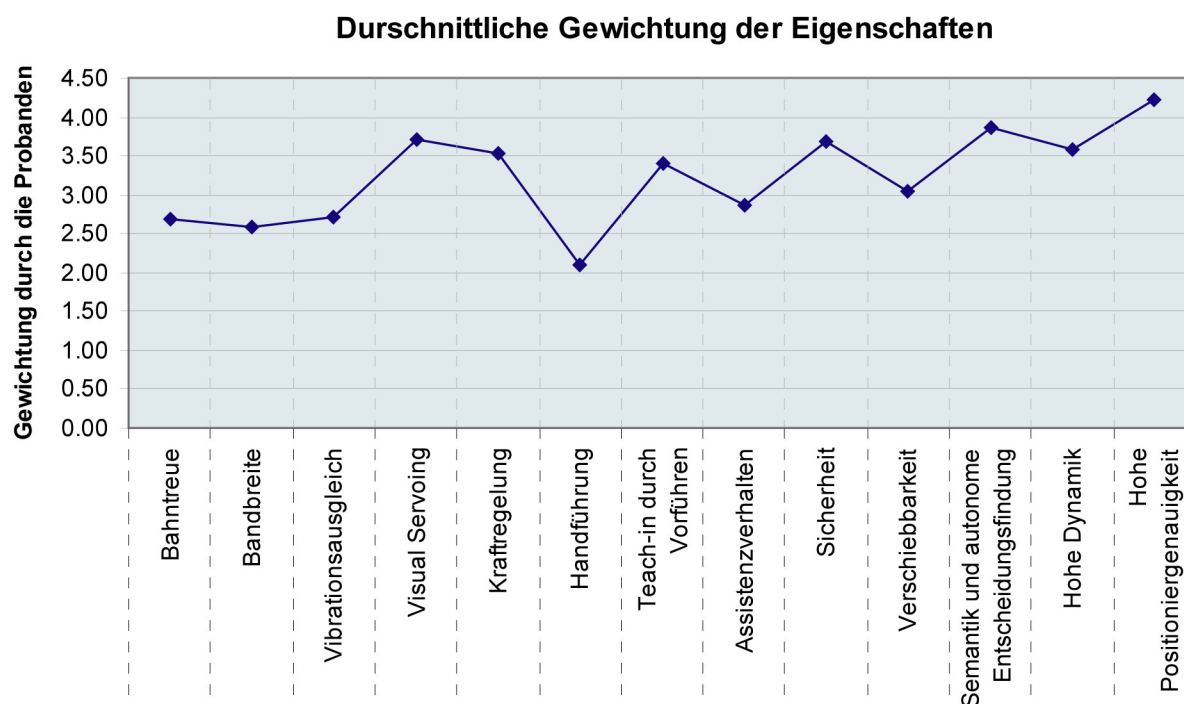


Abbildung 1: Gewichtung der einzelnen Robotereigenschaften bei direkter Befragung.

Semantik und autonome Entscheidungsfindung

Neben der bestehenden Programmierung könnte dem zukünftigen Roboter auch das Ziel seiner Handlungen einprogrammiert werden. Dadurch soll der Roboter in die Lage versetzt werden, kleinere Fehler selbstständig zu beheben und Optimierungen an seinem Prozessablauf vorzunehmen. Dieses Szenario spielt in der aktuellen Forschung des siebten Rahmenprogramms der EU eine wichtige Rolle [5]. Auch um Roboter zukünftig durch reines Vorführen effizient teachen zu können, wird es notwendig, dass zukünftige Robotersysteme das Wesen eines Prozessschrittes selbstständig identifizieren können. Mit diesem zusätzlichen Wissen wird eine spezifische Fehlerbehandlung für die unterschiedlichen Prozessschritte erreichbar. Die zusätzliche Information über das Ziel einer Handlung sollen damit auch Stillstandzeiten bei einfach zu verhindernden Problemen vermeiden.

Verkürzung der Zykluszeiten

Die Erhöhung der Dynamik eines Roboters führt zu einer höheren Prozessgeschwindigkeit und damit oft zu mehr Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Höhere Positionsgenauigkeit

Zukünftige Roboter könnten eine höhere statische Positionsgenauigkeit erreichen und auch Positionsfehler durch wechselnde Lasten besser und selbstständig kompensieren. Ein wesentlich genaueres Positionieren und prinzipiell auch eine höhere Positionsgenauigkeit bei schnellem Positionswechsel soll erreicht werden.

Bahntreue des Roboters

Anwendungen mit hohen Anforderungen an die Bahntreue stellen oft auch hohe Ansprüche an die Bandbreite einer Robotiklösung. Zukünftige Industrieroboter sollen besser geeignet sein, um schnelle Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen zu ermöglichen. Mit der höheren Bahntreue soll folglich auch während dem Bewegungsablauf mit hoher Bahngeschwindigkeit eine sehr hohe Positionsgenauigkeit erreicht werden.

Vibrationsdämpfung

Aktive Vibrationsdämpfung könnte mit Hilfe von externen Messsystemen erreicht werden. Der zukünftige Roboter würde dadurch eine höhere Präzision in der Fertigung erreichen. Auch eine aktive Dämpfung von Vibrationen anderer Objekte durch das Eingreifen des Roboters wäre denkbar.

Visual servoing

Zukünftige Industrieroboter werden in der Lage sein, Ihre Position und Geschwindigkeit auch während der Bewegung exakt durch Videomessungen zu korrigieren. Durch Positionskorrekturen basierend auf Bildmessungen sollen kostengünstigere Roboter für Positionieraufgaben mit hohen Genauigkeitsanforderungen eingesetzt werden.

Kraftregelung

Ein zukünftiger Roboter für Anwendungen in KMU soll Kräfte und Gewichte bereits in seiner Standardausführung messen können. Er soll ausserdem in der Lage sein, Kräfte auch im dynamischen Betrieb präzise regeln oder halten zu können. Der Roboter soll seine Last im Betrieb messen und damit auch die zusätzliche Masse während den Prozessschritten berücksichtigen können. Dies soll im Idealfall auch während der Bewegung zu höherer Dynamik und Präzision führen. Auch die Programmierung von Kontaktaufgaben, wie beispielsweise das Absetzen eines Werkstücks, könnte in Zukunft mit einer einfach zu programmierenden Kraftbedingung erledigt werden.

Handführung und Teach-in des Roboters durch Vorführen

Direkte physische Interaktion mit dem Roboter auch während des Betriebes erleichtert in Zukunft das Teach-in komplexer und variabler Produktionsvorgänge bei kleinen und mittleren Stückzahlen. Um dem Roboter seine Aufgabe so unkompliziert wie möglich beizubringen, wird ihm diese durch einfaches Führen des Roboters oder mittels eines Joysticks vorgeführt. Der zukünftige Roboter ist so in der Lage, in kürzester Zeit neue Tätigkeiten zu erlernen und diese so oft und so lange auszuführen wie nötig.

Assistenzverhalten des Roboters

Der zukünftige Industrieroboter soll zusammen mit einem menschlichen Mitarbeiter arbeiten. Durch die Zusammenarbeit kann das Team optimal auf Veränderungen reagieren, da komplexe Arbeiten und Prozessschritte vom Mitarbeiter übernommen werden können. Durch ein einfaches Benutzerinterface soll der Mitarbeiter dem Roboter Aufgaben übergeben oder in seine Arbeit eingreifen können.

Sicherheit: Personen im Arbeitsbereich

Das Verhalten des zukünftigen Roboters wird serienmässig sicher überwacht. Dies geschieht einerseits durch die sichere Überwachung der Roboterbewegung und andererseits auch durch die Überwachung des Arbeitsraumes mittels zusätzlicher Sensorik. Bei Abweichungen wird der Roboter gestoppt und in einen sicheren Grundzustand zurückversetzt. Durch die vorgesehene zusätzliche Sensorik ist der sichere Betrieb mit dem Menschen im Arbeitsbereich und ohne Sicherheitskäfig möglich. Diese Änderung bringt neue Anwendungsmöglichkeiten in der Teilautomatisation sowie Kosten- und Platzerparnisse mit sich.

Verschiebbarkeit / Umrüstbarkeit

Der Roboter lässt sich für verschiedene Produktionslinien einsetzen. Die Umstellung zwischen den Anwendungen soll dabei vom bestehenden Personal vorgenommen werden können. Die Umstellung und Verschiebung soll hoch effizient sein, sodass der Einsatz in verschiedenen Produktionslinien am selben Tag möglich wird.

2.3 Zahlungsbereitschaft

Während dem Gespräch wurde auch der Wert einer Roboteranlage thematisiert. Dabei war auffallend, dass sich die Kosten für einzelne Robotereigenschaften nicht beziffern liessen. Die Formel für die Kostenberechnung der gesamten Roboteranlage war wie erwartet sehr einfach. So basiert die Investitionsentscheidung kostenseitig hauptsächlich auf der Kapitalrendite.

Der Entscheid für oder gegen eine Roboteranlage hängt damit direkt vom Erreichen der Gewinnschwelle innerhalb von zwei bis vier Jahren, je nach Unternehmenspolitik und Branche ab. Einen starken Einfluss auf die Rentabilität hat aber auch die Anzahl Stellenprozent, welche real eingespart werden können und die bessere Ausnutzung der internen Ressourcen, beispielsweise durch die Möglichkeit höhere Stückzahlen herzustellen. Der zu erzielende Preis für eine Roboteranlage in KMU ist damit stark applikationsabhängig, was einschneidende Konsequenzen für die Vermarktung von Robotern im KMU Markt mit sich bringt.

Der Wert einer Roboteranlage hängt jedoch auch sehr stark von der Verfügbarkeit anderer Automatisierungslösungen im betreffenden Feld ab. Ist eine spezialisierte Maschine verfügbar, so kann sich eine Roboterlösung auf dem Markt wohl nicht durchsetzen, da Industrieroboter kostspielig in der Instandhaltung sind und geschultes Personal im Fehlerfall und für die Inbetriebnahme erfordern.

Fehlt hingegen eine Spezialmaschine und konkurrenziert die Robotiklösung mit manuellen Prozessen, so lässt sich der zu erzielende Preis für eine Roboteranlage auf die erwarteten Einsparungen und Effizienzverbesserungen innert zwei bis vier Jahren zusammenfassen. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass der Mensch vielseitiger einsetzbar ist als ein Roboter, weshalb heutzutage bei unsicherer Auftragslage klar zugunsten der manuellen Herstellung entschieden wird. Eine Robotiklösung mit den hier untersuchten Eigenschaften könnte diese Entscheidungsfindung jedoch stark zugunsten der Robotik beeinflussen.

Es hat sich in anderen Bereichen gezeigt, dass aufgrund der Marktdynamik eine eingesparte Stelle keinesfalls einer eingesparten Stelle auf dem Stellenmarkt entspricht, sondern dass durch die verbesserte Wettbewerbsfähigkeit oft neue attraktive Arbeitsplätze im Umfeld entstehen.

2.4 Quality Function Deployment

Zur Auswertung der Kundenbedürfnisse und zur zuverlässigen Übersetzung dieser Bedürfnisse in technische Eigenschaften und Anforderungen wurde die Methode des Quality-Function-Deployment [6], [7] gewählt. Die Methode erlaubt es, Kundenbedürfnisse direkter und ohne technische Abhängigkeiten und Sachzwänge zu erfassen, womit im vorliegenden Fall die Zuverlässigkeit der Befragung gesteigert werden sollte. Anwendung findet die Methode oft auch im Marketing und Produkt Management.

Trotz der hohen Aussagekraft von Resultaten aus der QFD-Analyse muss angemerkt werden, dass die Methode nicht geeignet ist, den Marktwert eines spezifischen Produktes zu bestimmen. Die Thematik des Preises ist komplementär zur Untersuchung nach der Methode des Quality-Function-Deployment. Die Thematik des zu erzielenden Preises wurde deshalb separat im Kapitel 2.3 und die gefundene Anzahl Anwendungen im Kapitel 2.5 behandelt.

Mit Hilfe des QFD lassen sich die Kundenbedürfnisse klar in folgende technischen Eigenschaften des Roboters übersetzen: Sicherheit des Roboters ohne Käfig, Assistenzverhalten des Roboters, Teach-in durch Vorführen mittels selbstständiger Identifikation der gestellten Aufgabe sowie Kraftregelung wurden nach der Analyse von den Kunden am stärksten nachgefragt. Robotereigenschaften, welche in den vergangenen Jahren meist als typische Kennzahlen von Robotern dienten, wurden vom Kunden deutlich weniger stark nachgefragt. Dies hängt sicher damit zusammen, dass die bestehenden Roboterlösungen bereits sehr stark auf Positioniergenauigkeit, Steifigkeit und schnelle Taktzyklen optimiert sind. Industrieroboter sind in diesen Belangen heute sehr stark optimierte Systeme und werden von möglichen Kunden aus dem KMU Bereich offensichtlich auch so wahrgenommen. Die Eigenschaften im Bereich der Positioniergenauigkeit, Steifigkeit und die zu erreichenden Taktzyklen werden als ausreichend für die meisten Anwendungen angesehen. Für die Aussage, ob auch Roboter mit geringerer Steifigkeit, Positioniergenauigkeit oder Bahntreue für einen Grossteil der Anwendungen in KMU ausreichend wären, würde jedoch noch eine Folgeuntersuchung notwendig.

Die Gewichtung von 1 (nicht relevant) bis 3 (sehr wichtig) wurde durch die Interviewpartner vorgenommen und direkt in der QFD-Analyse übernommen. Die Kundenbedürfnisse sowie die entsprechende Auswertung sind in Tabelle 2 ersichtlich.

2.5 Applikationsanforderungen

Eines der wichtigen Resultate der Untersuchung über zukünftige Robotik in KMU ist die hohe Anzahl möglicher Anwendungen und deren Anforderungen. So konnte einerseits ein Überblick gewonnen werden, in welchen Dimensionen sich zukünftige Roboteranwendungen in KMU hauptsächlich abspielen könnten. Abbildung 2 illustriert die Verteilung der verschiedenen Armlängen und Tragfähigkeiten, welche für die gefundenen zukünftigen Anwendungsfelder notwendig wären. Es zeigte sich, dass die meisten Applikationen nach einem Roboter mit geringerer Tragfähigkeit verlangten. Bei der Armlänge war eine Häufung der möglichen Anwendungen zwischen 1 und 1.5 Metern Armlänge und eine zweite Häufung für Armlängen zwischen 3 und 3.5m auffällig.

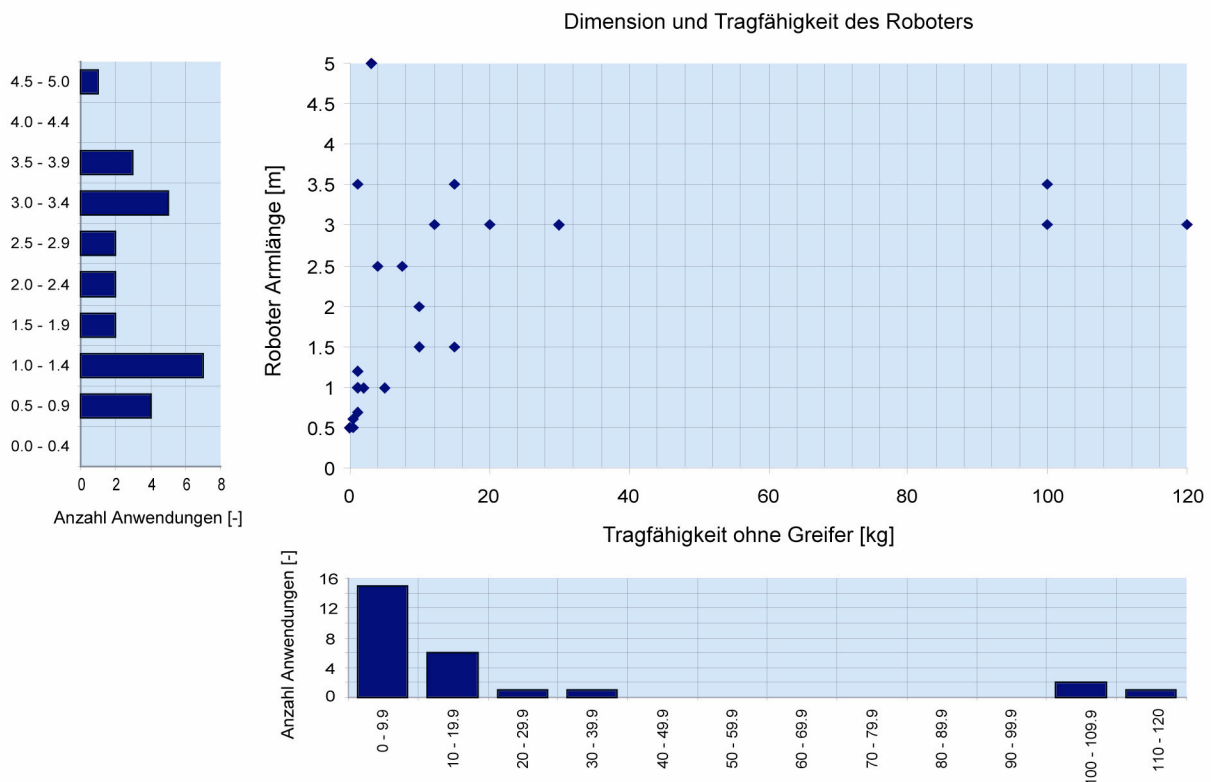


Abbildung 2: Dimension und Tragfähigkeit des Roboters

Die Anzahl der gefundenen Applikationsmöglichkeiten, sowie die darin erarbeiteten Anforderungen für einzelne Robotereigenschaften sind in Abbildung 3 ersichtlich. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sichere Robotik mit dem Betrieb ohne Käfig in sehr vielen KMU spezifischen Anwendungen relevant ist. Ausserdem beseitigen die Möglichkeiten der raschen Inbetriebnahme und Programmierung ein sehr grosses Problem der bestehenden Industrieroboter beim Einsatz in KMU. Schnelles Teach-in wird jedoch nicht als ausreichend, sondern als wichtige Eigenschaft vielseitig einsetzbarer Roboter wahrgenommen. Eine Verbesserung der klassischen Performance-Anforderungen wurden deshalb meist als „not used“ klassifiziert, weil die Performance-Eigenschaften bestehender Industrieroboter für die meisten der neuen Anwendungen in KMU als ausreichend angesehen werden.

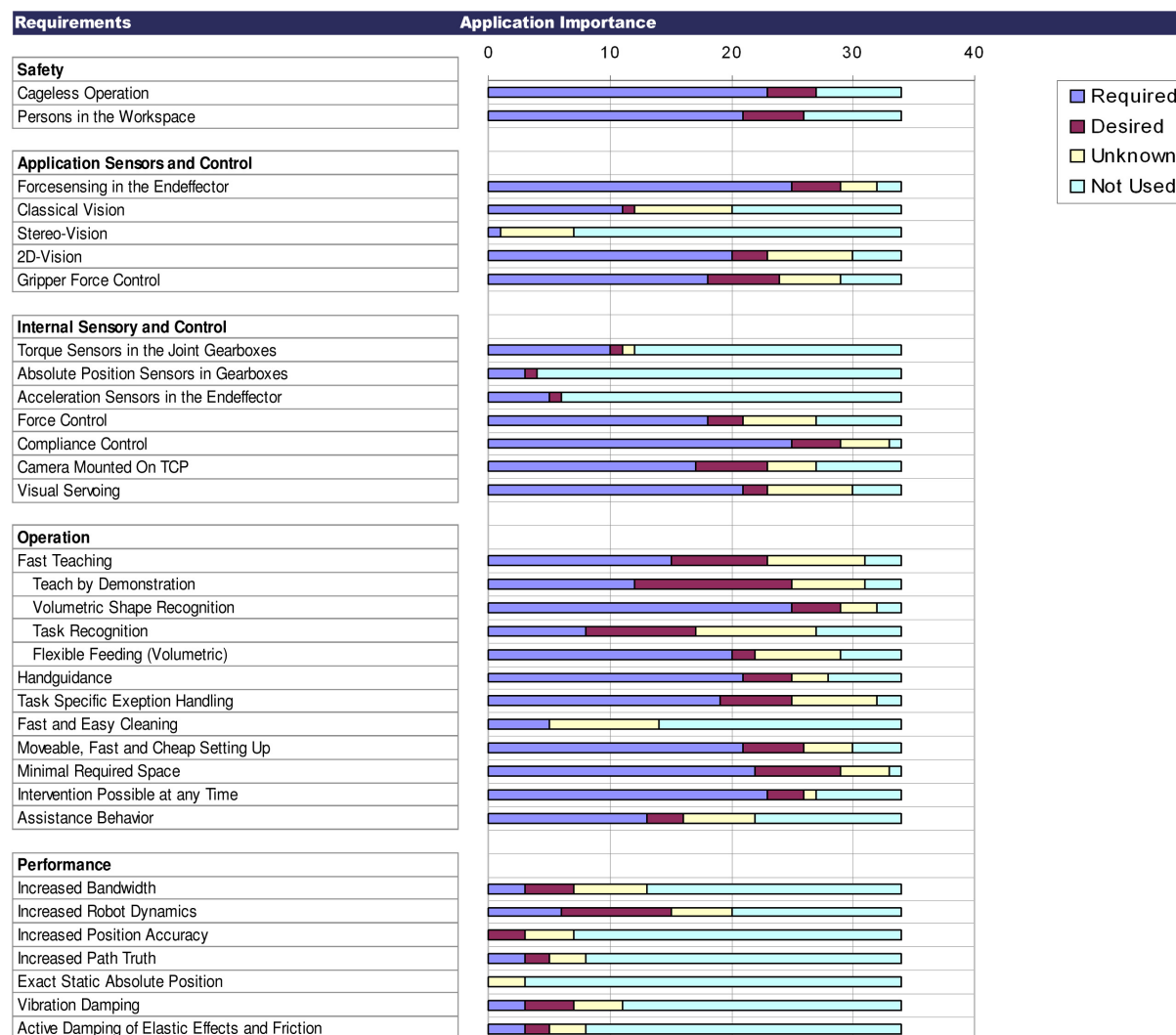


Abbildung 3: Anzahl der gefundenen Anwendungen mit den entsprechenden Anforderungen [9]

2.6 Bedeutung einzelner Merkmale

Basierend auf der Anzahl gefundener Anwendungen und den Robotereigenschaften, welche von den potenziellen Kunden nachgefragt wurden, soll in diesem Kapitel die Relevanz der einzelnen Eigenschaften als Kennzahl für zukünftige Anwendungen im KMU-Segment vorgeschlagen werden. Die Berechnung der Relevanz basiert auf der Annahme, dass die relevantesten Eigenschaften eine hohe Anzahl möglicher Anwendungen im KMU-Segment aufweisen und eine sehr hohe Bewertung in den Kundenbedürfnissen erzielen. Die Relevanz der einzelnen Eigenschaften wurde demnach durch Multiplikation der Gewichtung mit der Anzahl gefundener Anwendungen berechnet. Abbildung 4 zeigt das sich daraus ergebende Bild für die einzelnen Robotereigenschaften.

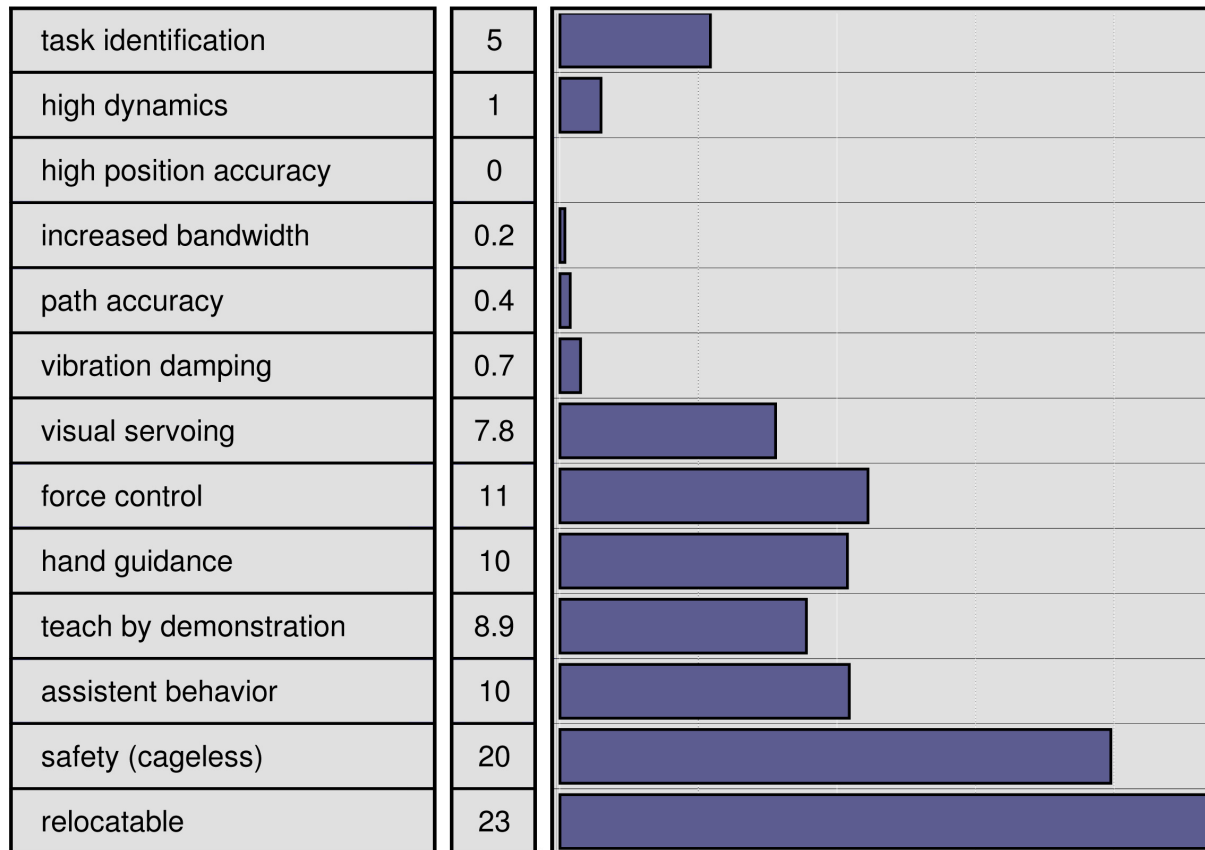


Abbildung 4: Relevanz berechnung basierend auf Gewichtung und möglichen Anwendungen [10]

Die relevantesten Eigenschaften eines KMU Roboters sind demnach die einfache Verschiebbarkeit und die sichere Robotik im käfiglosen Betrieb. Dieser Umstand kann damit erklärt werden, dass die entsprechenden Eigenschaften nicht nur Platz und Kosten sparen, sondern hauptsächlich neue Anwendungen in teilautomatisierten Prozessen ermöglichen und deshalb als Hauptmerkmale wahrgenommen wurden. Ebenfalls sehr stark bewertet wurde das Assistenzverhalten des Roboters und damit verbunden auch die Handführung und das einfache Teachen durch Vorführen.

Die sehr hohe Relevanz der Verschiebbarkeit und Umrüstbarkeit des Roboters und seines Umfelds in kürzester Zeit beinhaltet eine rasche Inbetriebnahme, schnelles Teach-in sowie modulare Plug-and-Produce Komponenten mittels neuartiger Sensoren und Aktoren. Das ideale, kurzfristig einsetzbare System würde sich ausserdem durch standardisierte Schnittstellen zur umgebenden Peripherie sowie durch vorgefertigte Anschlussmöglichkeiten für verschiedene Greifsysteme auszeichnen.

Auch die errechnete Relevanz weist den Eigenschaften, welche die Performanz der Robotiklösungen betreffen, sehr niedrige Werte zu. Dies deshalb, weil die Relevanz applikations- und nutzenabhängig ist. Die Performanz bestehender Industrieroboter wäre für die meisten der gefundenen zukünftigen Anwendungen im KMU-Segment ausreichend. Daher wurden auch nur sehr wenige Anwendungen gefunden, in denen eine erhöhte Performanz notwendig wäre. Die Relevanz einer erhöhten Bahn-treue ist, um ein Beispiel zu nennen, deshalb sehr gering ausgefallen.

3 Schlüsselanwendungen

Dieses Kapitel beschreibt einige mögliche Roboteranwendungen für die Automatisierung von typisch in KMU vorkommenden Aufgaben. Diese können in der beschriebenen Form von aktuell erhältlichen Industrierobotern in Standardkonfiguration nicht realisiert werden.

3.1 Robotergestützte Schweissmontage

Der untersuchte Schlossereiprozess ist bei der Fertigung von Schweissbaugruppen in drei Unterprozesse aufgeteilt: die Blechvorbereitung durch Zuschneidung mittels vollautomatischer Pressen, Laserschneidanlagen oder Fräsen, die Zusammenstellung der Schweisstteile und schlussendlich der Schweissvorgang selbst. Während das Zuschneiden und auch das Schweißen bereits auch schon für kleine und mittlere Serien effizient und Gewinn bringend automatisierbar sind, konnte für die Zusammenstellung der Schweisstteile bis heute noch keine rentable Automatisierungslösung gefunden werden. Die für diesen Prozessschritt notwendige Handarbeit macht die Produktion von Schweissbaugruppen-Kleinserien im europäischen Hochlohngebiet unrentabel.

Zur effizienten Fertigung könnte zukünftig ein Assistenzroboter eingesetzt werden. Der Roboterassistent würde das anzuschweisende Teil von einer Ablage greifen, es unter Führung der Schweissfachperson zur Zielposition bewegen und es dort solange genau in der zu schweisenden Position festhalten, bis die Schweissfachperson das Teil mit dem Handpunktschweisgerät angeheftet hat. Die genaue Positionierung des Teils würde von einem Teileinmesssystem unterstützt und der Roboter kann durch eine auch für Nicht-Robotikfachleute verständliche Mensch-Maschine-Schnittstelle bedient werden. Auf diese Weise ist die Fähigkeit des Industrieroboters, schwere Teile in der Genauigkeit von ein paar Zehntelmillimetern beliebig im Raum zu positionieren, ideal kombiniert mit der Flexibilität, Intelligenz und Erfahrung der Schweissfachperson.

Nicht nur die angepasste Mensch-Maschine-Schnittstelle sondern auch eine sichere Robotersteuerung sind in dieser Anwendung zwingende Voraussetzungen. Wegen des Wegfalls der Herstellung von Lehren oder des Mess- und Anreissprozederes und auch wegen der einfacheren Handhabung von schweren Teilen wird erwartet, dass der Zusammenstellprozess für Einzelstücke oder Kleinserien auf diese Weise um Faktoren beschleunigt werden kann. Somit ist der höhere Aufwand für die Verwendung eines Robotersystems gerechtfertigt.

3.2 Kunststoffbeutel Handhabung

Die Handhabung von Kunststoffbeuteln, wie sie oft für die Beilage von Kleinteilen zu den Hauptprodukten verwendet werden, wurde in vielen KMU als nicht oder nur schwer automatisierbar bezeichnet. Trotz vieler Versuche diesen Prozess zu automatisieren ist dafür bis heute keine robuste Lösung auf dem Markt erhältlich.

Einerseits sind die Kunststoffbeutel wegen ihres verformbaren Äusseren nur schwer mit genügender Sicherheit detektierbar und andererseits ist vielfach nicht klar, wie und wo sich die Teile im Beutel gerade befinden. Würde der Roboter ohne genauere Informationen über das zu greifende Objekt einfach zugreifen bestünde die Gefahr, dass er die Beutel nicht sicher greifen kann oder gar, dass er die darin befindlichen Objekte beim Greifprozess wegen der auftretenden zu hohen Kontaktkräfte zerstören könnte.

Ein Robotersystem das diese Aufgabe erfüllen kann, müsste die folgenden technischen Fähigkeiten besitzen:

- Ein 3D-Messsystem, welches die genaue Position des Beutels misst.
- Kraftgeregelte Bewegungen um zu verhindern, dass die Beutel oder die sich darin befindenden Teile zerstört werden und um einen zuverlässigen Griff des Beutels zu detektieren.
- Ein zuverlässiger Greifprozess: Der Greifprozess muss ein Teil der Reglerstrategie des Roboters sein.
- Visual servoing könnte den Greifprozess unterstützen.

3.3 Griff in die Kiste

Wegen der einfacheren Handhabung, aus Platzgründen oder auch wegen des kleineren Transportvolumens werden viele Teile in Körben, Kisten oder Container ungeordnet als Schüttgut zwischengelagert. Das Wiedereinbringen dieser Teile in automatisierte Prozesse ist seit Jahren als sogenanntes "Griff in die Kiste" Problem bekannt und wurde schon in vielen Forschungsapplikationen untersucht. Beispielsweise bietet das Visionsystem V- 500iA/3DL von Fanuc robotics hoch integrierte 3D-vision Technologie um das "Griff in die Kiste" Problem zu lösen. Die Machbarkeit wurde von Fanuc in den Produktionslinien für ihre eigenen Produkte bewiesen [11].

Trotzdem ist bis heute noch keine einfache und zuverlässige Lösung auf dem Markt, welche alle Bedürfnisse der KMU abdeckt. Vor allem sollte das Erlernen der zu greifenden Teile dem System schnell und unkompliziert beigebracht werden können, zum Beispiel durch ein einfaches "teaching by demonstration". Das Hinzuziehen von CAD-Daten oder die komplexe Eingabe von Teileparametern ab Zeichnung um dem System die Form der zu greifenden Teile zu lehren sollte nicht nötig sein.

Ein Robotersystem das diese Aufgabe erfüllen kann, müsste die folgenden technischen Fähigkeiten besitzen:

- Ein 3D-Messsystem welches die genaue Position der Teile in der Kiste messen kann. Dieses System könnte auch ein am Greifer montiertes Scannersystem sein.
- Ein einfaches Erlernen der zu greifenden Objekte ist ein Muss.
- Das Messsystem sollte ein integraler Bestandteil des Roboters sein und über die normale Roboterschnittstelle bedient werden können.

3.4 Montageanwendungen

Auch heute noch sind die meisten Montageprozesse in KMU, auch bei grösserer Stückzahl, reine Handarbeit. Der Grund dafür ist die hohe Vielfältigkeit der verschiedenen Montageschritte. Die Serienfertigung in KMU betrifft häufig typischerweise 10 bis 50 verschiedene Produkte mit Losgrößen zwischen vielleicht 1000 und 100'000 Stück pro Jahr. Das ist vielfach zu wenig, als dass es sich lohnen würde, für jeden Montageschritt aller verschiedener Produkte einen hochspezialisierten Automaten herzustellen oder ein Robotersystem im klassischen Sinn zu programmieren und einzurichten.

Ein Montageroboter muss fähig sein, eine Vielzahl von Aufgaben zu erledigen wie zum Beispiel Zusammenfügen, Schrauben, Anschliessen, Einpassen usw. Für einen effektiven Einsatz sollte nicht für jeden Vorgang ein eigener Greifer nötig sein – ausserdem sollte aus Rentabilitätsgründen auf eine

Vielzahl verschiedener, teurer Zuführeinrichtungen verzichtet werden können. Beinahe am wichtigsten ist aber das zur Verfügung stehen eines einfachen, intuitiven Roboterinterfaces, welches auch von einem nicht Robotikfachmann schnell und ohne aufwendige Schulung bedient werden kann.

Ein erfolgreicher Robotereinsatz bei der Montage in KMU erfordert also die folgenden Robotereigenschaften:

- Ein Assistenzroboterkonzept - weil kaum je alle einzelnen Schritte eines Montageprozesses für viele kleine Serien effizient roboterisiert werden können.
- Das Assistenzroboterkonzept verlangt nach einem sicheren Roboter, da der Mensch sich im Arbeitsraum des Roboters befindet.
- „Griff in die Kiste“ - Funktionalität (siehe 3.3 Griff in die Kiste) für die Vermeidung einer Vielzahl verschiedener, teurer Zuführeinrichtungen.
- Ein 3D-Messsystem, das die präzise Position des zu montierenden Teils und des Montageortes messen kann. Dieses Messsystem kann am Greifer montiert sein und könnte gleichzeitig für die „Griff in die Kiste“ – Funktion verwendet werden.
- Ein schnelles und effizientes „teaching by demonstration“ ist unabdingbar.
- Kraftgeregelte Bewegungen für bei der Montage häufig auftretende Fügeoperationen.
- Ein flexibler Greifprozess als Teil der Reglerstrategie des Roboters, z. B. in Zusammenhang mit kraftgeregelten Bewegungen um beim Greifen der Teile unerwünschte Kräfte zu vermeiden.
- Visual servoing könnte den Montageprozess erleichtern.

3.5 Konfektionierung, Be- und Entladen

Das Handling von schweren Lasten von Hand ist ineffizient und kann langfristig die Gesundheit des Arbeiters gefährden. Die Verwendung eines Krans hilft zwar einerseits die schweren Lasten zu heben, benötigt aber andererseits viel Zeit und ist deshalb für Serien nicht geeignet. Ausserdem ist die genaue Positionierung von schweren Teilen mittels eines Krans oft schwierig.

Je nach Applikation ist entweder eine vollautomatische Lösung oder aber auch eine Lösung mit Hilfe eines Assistenzroboters für das Handling von schweren Lasten denkbar. Ein Beispiel für eine Assistenzroboterlösung ist das Gepäckhandling in Flughäfen. Dort müssen Gepäckstücke von unterschiedlichster Form, Grösse und Gewicht verladen werden und dabei trotzdem mit der nötigen Genauigkeit bewegt werden, um ein kollisionsfreies Einladen in die Gepäckcontainer zu gewährleisten.

Die folgenden technischen Eigenschaften sind für diesen Robotereinsatz nötig:

- Ein Assistenzroboterkonzept - weil ein Handling von nicht genau bekannten Gegenständen, welche von verschiedenster Form, Grösse und Gewicht sein können, kaum robust für Be- und Entladeprozesse vollautomatisiert werden kann.
- Das Assistenzroboterkonzept verlangt nach einem sicheren Roboter, da der Mensch sich im Arbeitsraum des Roboters befindet.
- „Griff in die Kiste“ Funktionalität (siehe 3.3 Griff in die Kiste) erhöht die Aufnahmegeschwindigkeit der zu handelnden Lasten.

- Ein 3D-Messsystem, das die präzise Aufnahme- und Ablageposition der zu verladenden Lasten messen kann. Dieses Messsystem kann am Greifer montiert sein und könnte gleichzeitig für die „Griff in die Kiste“ – Funktion verwendet werden.
- Ein schnelles und effizientes „teaching by demonstration“ ist nötig.
- Kraftgeregelte Bewegungen helfen bei der Aufnahme und Ablage von Gegenständen in einer nicht genau definierten Umgebung so, dass beim Handling der Gegenstände keine unerwünschten Krafteinwirkungen auf diese auftreten.
- Visual servoing könnte die Be- und Entladeprozesse erleichtern.

4 Fazit

Als grundlegendes Problem in der KMU-Robotik gilt sicher die heute sehr hohe notwendige Strukturierung des Arbeitsraumes. Der Produktionsprozess muss der Roboterlösung angepasst werden – manchmal gar mit Änderungen am Produkt. Dies hat mit flexibler Robotik, so wie sie auch heute schon beworben wird, nichts zu tun. Die Umfrage war sehr eindeutig in der Aussage, dass ein Roboter sich in die Prozesse integrieren muss. Diese geforderte Flexibilität beinhaltet nebst der halbstrukturierten Umgebung auch das einfache Programmieren und das rasche Umrüsten auf neue Produkte oder Prozesse.

Anwendungsgebiete existieren, um einige Beispiele zu nennen, in der Kommissionierung, Verpackung, Logistik, Bearbeitung von Stückgut sowie in der Montage. Da es sich bei den in den Gesprächen diskutierten, möglichen Anwendungsgebieten oft um Assistenzsysteme oder käfiglose Systeme handelte, kommt der Sicherheit in der Zusammenarbeit mit dem Menschen eine grosse Bedeutung zu. 3D Raumerkennung liefert hier eine Schlüsseltechnologie, die in Zukunft eine stark verbesserte sichere Robotik verspricht. Mithilfe dieser Sensortechnologie können auch lange bestehende Probleme der Industrierobotik gelöst werden, wie dies jüngst mit dem „Griff in die Kiste“-Problem gezeigt wurde. Soche Veränderungen können grosse Einsparungen in der Produktionslinie zur Folge haben.

Diese Kombination verlangt sehr viel Forschung und neue Technologien, die von Seiten der Europäischen Kommission auch stark gefördert wird. Neben den technischen Anforderungen gilt es jedoch nicht zu vergessen, dass die Prozesse, bei denen Roboter eingesetzt werden könnten, oft eine sehr geringe Wertschöpfung beinhalten. Somit muss speziell im KMU-Segment auch auf tiefe Kosten des Roboters geachtet werden.

4.1 Kundenbedürfnisse

Im Kapitel 2.4 Quality Function Deployment wurden die sichere Robotik, das Assistenzverhalten des Roboters und ein vereinfachtes Teach-in des Roboters durch Vorführen als klare Kundenbedürfnisse identifiziert. Rasche Einsatzfähigkeit sowie einfache Teach-in und Programmierfähigkeiten auch bei komplexeren Anwendungen könnten den Einsatz eines Robotik-Experten unnötig machen. Mit den damit verbundenen Kosteneinsparungen und mit der drastisch erhöhten Flexibilität solcher rasch einsetzbarer Robotiklösungen könnten diese auch für kleine Unternehmen interessant werden. Im Bereich der sicheren Robotik sind bereits erste Industrieroboter mit sicheren Steuerungen auf dem Markt erhältlich, welche einen sicheren Betrieb des Roboters mit dem Menschen im Arbeitsbereich erlauben. Von der Ideallösung für KMU sind diese Ansätze jedoch noch weit entfernt.

Die „Strategic Research Agenda“ der europäischen Plattform für Robotik EUROP [12] zielt deshalb als Forschungsfahrplan in die Richtung von Robotersystemen, die den Menschen wahrnehmen und direkt mit ihm interagieren und zusammenarbeiten können sowie auf Roboter die komplexe Aufgaben mit hohem Selbstständigkeitsgrad erfüllen können. Viele der darin beschriebenen Eigenschaften zukünftiger Roboter wurden auch in der vorliegenden Studie berücksichtigt. In einigen Bereichen geht die Research Agenda jedoch wesentlich weiter, da sie sich nicht auf das industrielle Umfeld beschränkt, sondern auch sehr zukunftsgerichtete Anwendungen im Weltraum oder als Haushaltroboter in Betracht zieht.

4.2 KMU-spezifische Probleme

Die produzierenden kleinen und mittleren Unternehmen haben oft ähnliche Probleme mit den existierenden Industrierobotern. Das „Griff in die Kiste“ Problem ist nicht robust und kosteneffizient gelöst. Auch das Verpacken und die Montage sind mit bestehenden Roboterlösungen meist nicht robust und rentabel lösbar. Die Prozesse, welche bisher einen profitablen Robotereinsatz verhindern oder erschweren, sind beispielsweise die Separierung von Stückgut, die Handhabung von Kunststoffbeuteln und nachgiebigen Objekten sowie die Umstellung der Produktionsanlage sowohl örtlich als auch auf andere Produkte. In kleineren Betrieben wirkt sich auch die Notwendigkeit eines Robotik-Experten zur Lösung von spezifischen Robotikproblemen negativ auf die Rentabilität einer Roboteranlage aus. Zusammen mit den Roboterkosten lohnt sich eine automatisierte Produktion mit Hilfe von Robotern für kleinere Stückzahlen heute meist nicht.

4.3 Literatur

- [1] Arflex: Adaptive robots for flexible manufacturing systems, Offizielle Homepage des Europäischen FP6 Projektes ARFLEX, <http://www.arflexproject.eu>, zuletzt besucht am: 31.05.2007
- [2] Brainstart: Studentische Unternehmensberatung, <http://www.brainstart.ch>, zuletzt besucht am: 30.05.2007
- [3] Schober: Schober Information Group, Schober Information Group in Bachenbülach Schweiz, <http://www.schober.ch>, zuletzt besucht am 25.05.2007
- [4] Kompass: Firmenverzeichnis für Anbieter und Lieferanten, Kompass Schweiz Verlag AG, <http://www.kompass.ch>, zuletzt besucht am 25.05.2007
- [5] Cordis: Technologien für die Informationsgesellschaft, Arbeitsprogramm 2005-06, Europäische Kommission, ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/wp_4th_update_de.pdf, Seite 4, zuletzt besucht am 30.05.2007
- [6] Akao, Y.: QFD-Quality Function Deployment - Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech: 1992
- [7] King, B.: Quality Function Deployment - doppelt so schnell wie die Konkurrenz. 2. Aufl., Gesellschaft für Management und Technologie, München: 1994
- [8] Maag, S; Nielsen, E.: The SME demands on flexible industrial robots - Contribution to Task 3, WP1 of the ARFLEX project, Institute of Mechatronic Systems, Zurich University of Applied Sciences Winterthur: 2006, Seite 25
- [9] Maag, S; Nielsen, E.: The SME demands on flexible industrial robots - Contribution to Task 3, WP1 of the ARFLEX project, Institute of Mechatronic Systems, Zurich University of Applied Sciences Winterthur: 2006, Seite 31
- [10] Maag, S; Nielsen, E.: The SME demands on flexible industrial robots - Contribution to Task 3, WP1 of the ARFLEX project, Institute of Mechatronic Systems, Zurich University of Applied Sciences Winterthur: 2006, Seite 9
- [11] MAV Magazin, Klares Bild für die Automatisierung, 12/2005, Seite 55
- [12] EUROP: The European Robotics Platform – Strategic Research Agenda, http://www.robotics-platform.eu.com/pdf/EUROP_SRA_May_2006.pdf, Seite 38 ff, zuletzt besucht am 31.05.2007

4.4 Danksagung

Die vorliegende Untersuchung wurde unterstützt durch das europäische Forschungsprojekt Adaptive Robots for Flexible Manufacturing Systems (ARFLEX, 2005-2008) des sechsten Forschungsrahmenprogramms der EU. Ein Dank geht auch an die Herren Alexander Baer, Fabian Höhener, Mounir Khouzami, Samuel Ruch und Stefan Thalmann der Firma Brainstart für die Beratung in Wirtschaftsfragen und auch Herr Einar Nielsen für die Mitarbeit an der Erhebung der Daten. Ausserdem danken wir den folgenden Firmen für die Zusammenarbeit und freundliche Unterstützung:

Benninger AG, Bernina Schweiz AG, Bruno Piatti AG, Bucher Leichtbau AG, DHL, Dörig Fenster AG, Electrolux AG, Geberit Produktions AG, Georg Fischer AG, Grossenbacher Apparatebau AG, Jowa, Kaba, Landert Motoren AG, Oerlikon Contraves, Optiprint AG, Panofina, Pendt, Polymeca AG, Reichle & De-Massari Schweiz AG, Ringier Print AG, Schmidt & Partner Engineering AG, Schulthess Maschinen AG, Swissport Basel AG, Swisstronics, Technology AG, Weidmann Plastics Technology AG, Zimmer Schweiz GmbH