Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

WIRTSCHAFT.
WACHSTUM.
WOHLSTAND.

AUTONOMIK

Band 4

Industrielle Servicerobotik

Studie

Impressum

Herausgeber
Bundesministerium für
Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

Stand
Januar 2013

Druck
Elch Graphics Digitale- und Printmedien GmbH und Co KG

Gestaltung und Produktion
Loesch*Hund*Liepold Kommunikation GmbH, Berlin

Bildnachweis
Titel, Seite 13, 17: rorarob
Seite 8: TU Berlin
Seite 10: Parrot
Seite 14: PCK
Seite 16: STILL
Seite 17: SaLsA
Seiten 21, 30: AutoPnP

Redaktion
Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK:
Institut für Innovation und Technik
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin

Loesch*Hund*Liepold Kommunikation GmbH, Berlin

Text
Institut für Innovation und Technik

in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie ist mit dem Grundzertifikat zum Audit Beruf & Familie® als familienfreundlicher Arbeitgeber ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der Beruf & Familie gemeinnützige GmbH, einer Initiative der gemeinnützigen Hertie-Stiftung verliehen.

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung – Definition – Markt 5

2. Aktuelle Anwendungsfelder und Anwendungen der Servicerobotik 10

2.1 Einsatz in industriellen Anwendungen 11

2.2 Assistenzroboter 12

2.3 Serviceroboter zur Überwachung und Intervention 13

2.4 Serviceroboter zur Exploration, Inspektion und Wartung 14

3. Beispiele industrieller Servicerobotik aus den AUTONOMIK-Projekten 15

4. Entwicklungsperspektiven 19

4.1 Wahrnehmung von und Navigation in der Welt 19

4.2 Lernfähigkeit und Adaptivität 19

4.3 Autonome Interaktion mit der Umgebung 19

4.4 Sichere Mensch-Roboter-Interaktion 20

4.5 Energiebedarf und Lebensdauer 20

4.6 Forschungsschwerpunkte in den genannten Anwendungsfeldern 21

5. Softwarebasis für autonome Systeme, Referenzarchitektur 23

6. Aktuelle Schlaglichtbefragung 27

7. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen 29

7.1 Fazit 32

7.2 Empfehlungen 32

AUTONOMIK

„Autonomik – Autonome Systeme und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand“ ist ein Technologieprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Bei AUTONOMIK geht es um zukunftsweisende Ansätze für die Entwicklung einer neuen Generation von intelligenten Werkzeugen und Systemen, die eigenständig in der Lage sind, sich via Internet zu vernetzen, Situationen zu erkennen, sich wechselnden Einsatzbedingungen anzupassen und mit Nutzern zu interagieren. Insgesamt haben sich 14 Projektverbünde, u. a. zu fahrerlosen Transportsystemen, robotischen Assistenten, autonomen Logistikprozessen und Klinikanwendungen für eine Förderung durch das BMWi qualifiziert. Die Projekte haben eine Laufzeit von durchschnittlich drei Jahren. Rund 100 Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen wirken an den Vorhaben mit. Das Projektbudget beträgt zusammen ca. 110 Mio. Euro. Die Projekte sind: AGILITA, AutASS, AutoBauLog, AutoPnP, DyCoNet, LUPO, marion, RAN, RoboGasInspector, rorarob, SaLsA, simKMU, smartOR, viEMA.

1. Einführung – Definition – Markt

Der Siegeszug der Robotik in Produktionsumgebungen ist nicht mehr aufzuhalten. Nicht zuletzt die rasante Entwicklung der Robotik hat einen großen Anteil an der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Glaubt man den Experten, steht uns nun nach einem halben Jahrhundert der dominanten Industrierobotik ein halbes Jahrhundert der Servicerobotik bevor. Die Zahlen belegen diesen Trend.

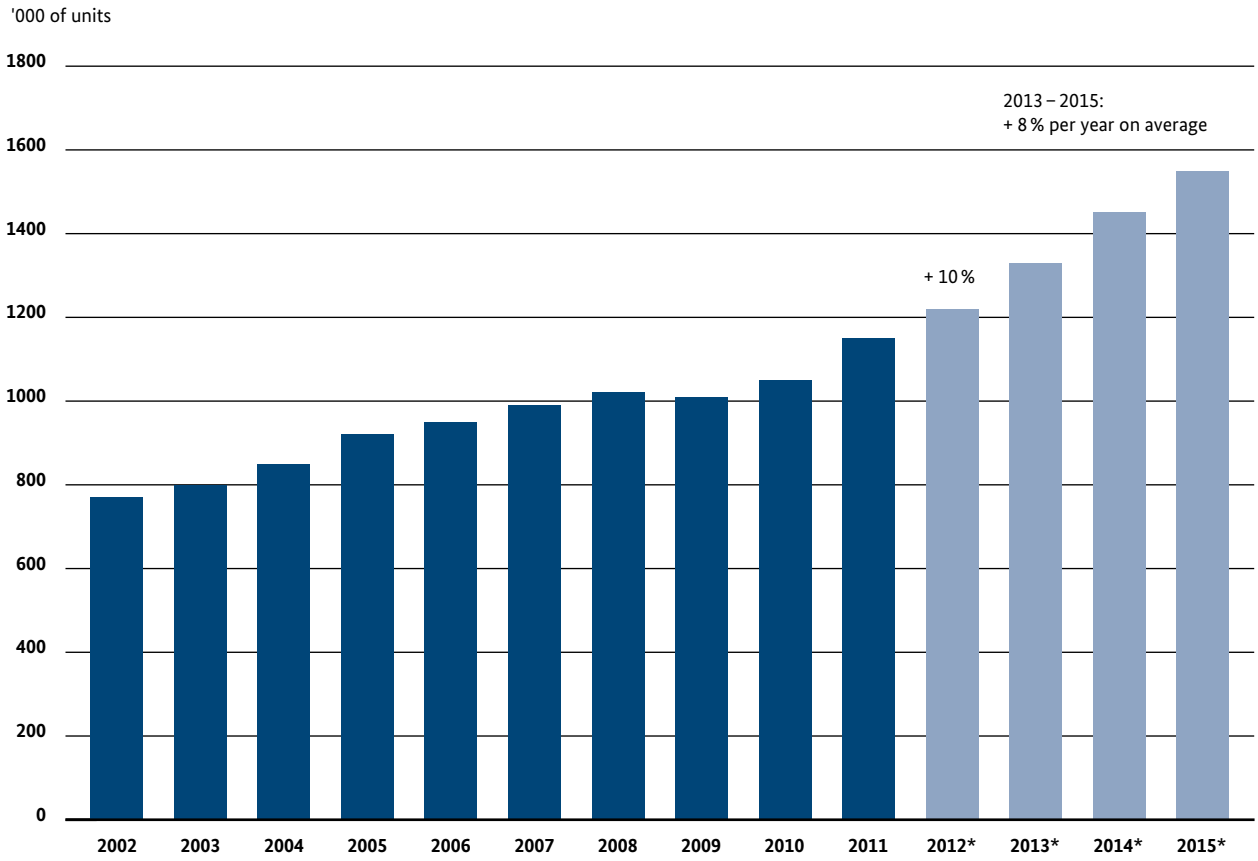
Mit etwa 2,9 Milliarden Euro Umsatz (2011) weltweit beansprucht die Servicerobotik zwar momentan noch einen relativ kleinen Anteil am Gesamtumsatz der Robotik-Branche. Seit 2003 steigen die weltweiten Einsatzzahlen von Servicerobotern jedoch im Schnitt um über 20 Prozent jährlich.

Die Gesamtzahl der im Jahr 2011 verkauften, professionellen Serviceroboter stieg um 9 % im Vergleich zum Jahr 2010 (16.408 Einheiten im Vergleich zu 15.027).

Seit 1998 wurden insgesamt mehr als 110.000 Service Roboter für den professionellen Einsatz in dieser Statistik gezählt:

Laut der Studie World Robotics 2012 Service Robots wird für die Jahre 2012 bis 2015 ein weltweites Marktvolumen von 12,7 Milliarden Euro prognostiziert. Die Hälfte dieses Umsatzes wird durch den Militärbereich und für landwirtschaftliche Anwendungen generiert. Weltweit existieren derzeit über 100.000 eingesetzte

Mehr als 1,5 Millionen Roboter werden 2015 weltweit im Einsatz sein



2002 – 2015 (forecast)
Quelle: Worlds Robotics 2012, VDMA

Serviceroboter-Systeme und belegen die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Automatisierung eines weiten Spektrums an Dienstleistungstätigkeiten.

Auch nach Einschätzung der EU sind autonome, mobile Roboter für die Produktion, Logistik und Dienstleistung für die Wettbewerbsfähigkeit von Europa von strategischer Bedeutung bei der Fertigung in der Hochlohnregion Europa.

Für das Jahr 2025 darf erwartet werden, dass die Servicerobotik zum zentralen Element in Wertschöpfungsketten wird und einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil für die deutsche Wirtschaft darstellt. Im Vordergrund stehen hier die Zahlen für Servicerobotikprodukte im Bereich Militär, Sicherheit, Überwachung, Reinigung und mobile Plattformen. Hieraus kann zumindest für Serviceroboter zur Überwachung und Intervention sowie autonom agierende Serviceroboter ein spürbares Marktwachstum in den nächsten zehn Jahren abgeleitet werden.

Servicerobotik

Mit dem Begriff Industrielle Servicerobotik werden robotische Systeme bezeichnet, die nicht wie bei der Industrierobotik nahezu ausschließlich in der Fertigung von Massenprodukten eingesetzt werden, sondern als Folge ihrer erweiterten Fähigkeiten in vielen Anwendungsfeldern innovative Prozesse und Dienstleistungen ermöglichen. Die Verbindung aus Service und Robotik impliziert die Verbindung eines Dienstes oder einer Dienstleistung für den Menschen, während Robotik auf die automatische und i.d.R. selbstständige Ausführung der betreffenden Dienstleistung abzielt. Demnach wird heute unter einem Serviceroboter ein meist mobiler Roboter verstanden, der Dienstleistungen entweder in direkter Kollaboration mit dem Nutzer oder völlig autonom erbringt. Der Serviceroboter unterscheidet sich somit grundlegend von einem Industrieroboter, da er zur Durchführung seiner Aufgaben besondere Fähigkeiten benötigt (z. B. Umfelderfassung und Interpretation, Lernfähigkeit, einfache Instruierbarkeit), die ein Industrieroboter nicht hat. Serviceroboter zeichnen sich generell durch größere Flexibilität und höhere Autonomie aus. Es wird ihnen möglich sein, zukünftig viele Aufgaben und Assistenzhandlungen anstelle eines oder in Ergänzung zum Menschen auszuführen. Dabei agieren sie als sogenannte Co-Worker, um in enger Kollaboration mit dem Menschen komplexe Aufgaben zu erledigen. Insofern sind erste, in der Industrie eingesetzte Serviceroboter nicht für die Massenproduktion entwickelt worden, sondern um höherwertige, individuelle Handlungen, häufig (semi-) autonom ausführen zu können.

Servicerobotik als Schlüssel zu effizienterer Wertschöpfung

Aber nicht nur die Zahlen belegen das wirtschaftliche Potenzial der Servicerobotik. In einer durch den demographischen Wandel beständig älter werdenden Gesellschaft gewinnt die Rolle assistierender Serviceroboter sowohl im privaten als auch betrieblichen Kontext zunehmend an Bedeutung. Im Jahr 2035 wird in Deutschland mehr als die Hälfte der Bevölkerung 50 Jahre oder älter und jeder Dritte älter als 60 Jahre sein. Qualifizierte Mitarbeiter werden ein knappes Gut. Daher ist zu erwarten, dass der Servicerobotik eine wesentliche Rolle in der industriellen Produktion zufallen wird, um die wachsende demographische Lücke zu füllen.

Wegen ständig steigender Lebenserwartung und sinkender Geburtenrate sind in Japan bereits mehrere Initiativen gestartet worden, um Serviceroboter zu entwickeln. Diese sollen sowohl assistive Aufgaben zur Unterstützung älterer Menschen übernehmen, als auch insgesamt die geringere Anzahl an arbeitsfähigen Menschen ergänzen. Obwohl die Lage in Deutschland nicht ganz so dramatisch wie in Japan ist, muss auch hier mit einem schnell anwachsenden Bevölkerungsanteil älterer Menschen gerechnet werden.

Auch die Akzeptanz für Serviceroboter nimmt weiter zu. Die private Nutzung von einfachen Servicerobotern wie Staub- oder Rasenmähroboter tragen ihren Teil

dazu bei. Ob als Unterstützung im Alltag Älterer oder als effiziente Helfer in der Produktion: die Servicerobotik entwickelt sich langfristig zu einem wichtigen Wertschöpfungsfaktor im Dienstleistungs- und Produktionssektor. Besondere Potenziale vielseitig einsetzbarer und anpassungsfähiger Serviceroboter liegen im Bereich kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU). In spezialisierten Produktionsprozessen und bei kleineren Stückzahlen können Serviceroboter ökonomisch sinnvoll eingesetzt werden. Investitionen in die Servicerobotik werden von großem volkswirtschaftlichen Interesse sein, um auch in Zukunft die für den Wohlstand Deutschlands erforderliche Wertschöpfung sicherstellen und wirtschaftlich weiterhin eine internationale Spitzenposition einnehmen zu können.

Herausforderungen der Servicerobotik: Sicherheit, Kosten, Nutzerfreundlichkeit

Serviceroboter müssen sicher sein, damit sie autonom mit Menschen zusammenarbeiten und sich ein Arbeitsumfeld teilen können. Voraussetzungen dafür sind unter anderem eine leistungsfähige Umgebungserkennung, kurze Reaktionszeiten und ein hohe Intelligenz der Serviceroboter-Systeme. Einheitliche Sicherheitsstandards bei Hard- und Softwarekomponenten und die Weiterentwicklung rechtlicher Rahmenbedingungen sind ein weiterer wichtiger Schritt, um die Akzeptanz innerhalb der Anwendergruppen zu steigern und die Verbreitung von Servicerobotern voranzutreiben.

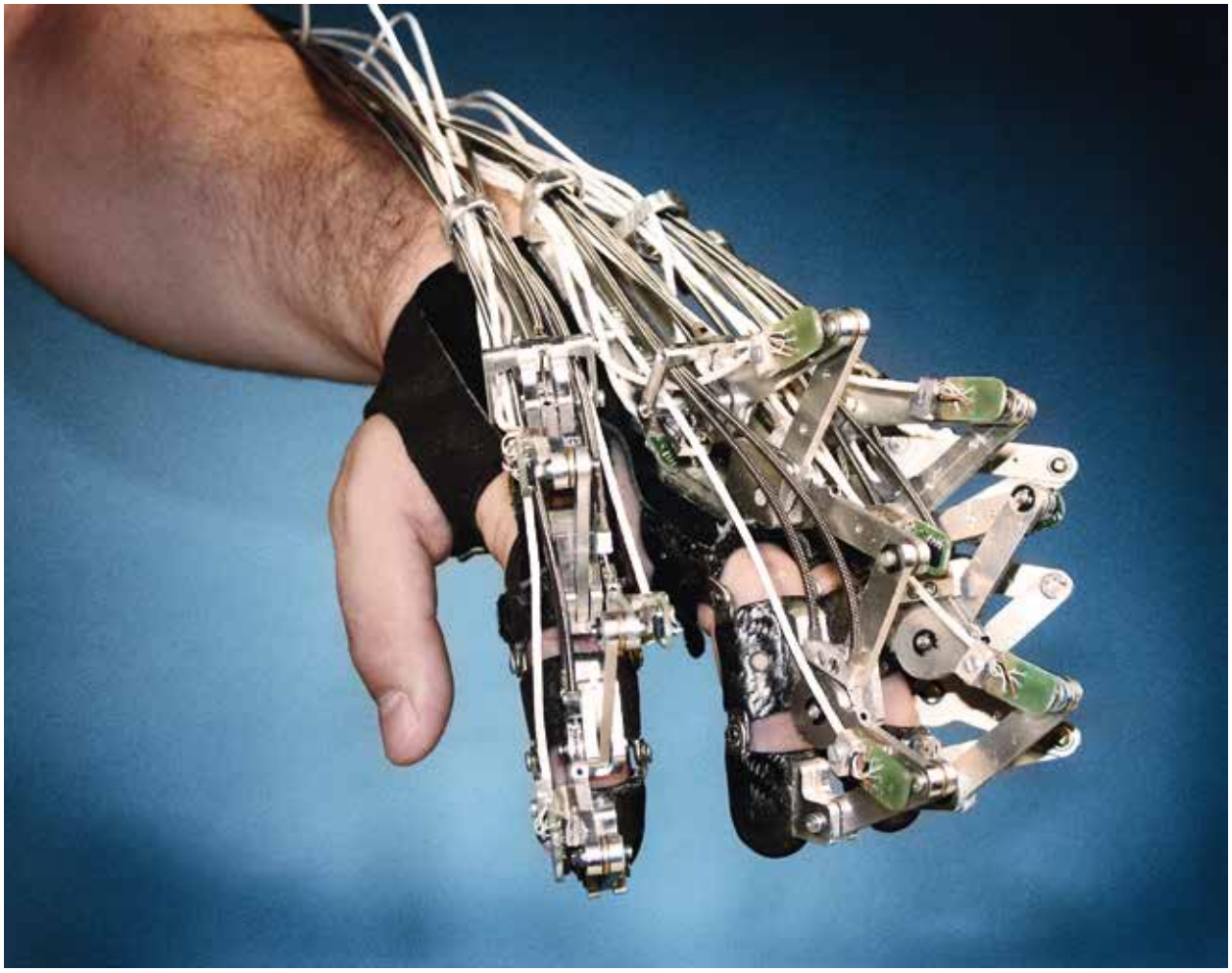
Neben Sicherheitsaspekten ist auch die Reduzierung von Anschaffungs-, Betriebs und Wartungskosten, sowie das Angebot flexibler Finanzierungsmodelle für Betriebe ein wichtiger Faktor, um das Wachstumspotenzial der Servicerobotik weiter auszubauen.

Einheitliche Hard- und Softwarestandards ermöglichen eine einfache Verknüpfung unterschiedlicher Systemkomponenten nach dem „Baukasten-Prinzip“. Zulieferer können so höhere Stückzahlen produzieren und die Produktionskosten für Serviceroboter weiter senken. Für eine effektive Zusammenarbeit von Mensch und Serviceroboter ist eine einfache und intuitive Bedienung Voraussetzung. Viel versprechende Ansätze finden sich etwa in der Sprach- oder Gestensteuerung. Ziel der Entwicklungen ist eine einfache und zuverlässige Kommunikation, die auch Laien-Anwender in die Lage versetzt, den Serviceroboter sicher zu bedienen. Eine Schlüsselrolle in der Mensch-Technik-Interaktion kommt dabei auch der Lernfähigkeit robotischer Systeme zu. Erst die Anpassungsfähigkeit an neue Situationen und Aufgaben ermöglicht den flexiblen Einsatz der Serviceroboter.

Ländervergleich

Die Servicerobotik hat sich in verschiedenen Industriestaaten unterschiedlich schnell entwickelt. In einigen Ländern ist die Serviceroboterdichte deutlich höher als in anderen. Die Gründe für diese Fokussierung auf einige wenige Länder liegen unter anderem bei den vielfältigen notwendigen Voraussetzungen für die Entwicklung und den Einsatz von hochentwickelten Servicerobotern. Als weitere Ursachen für diese Entwicklung sind eine innovationsfreudige Robotik-Industrie, ein notwendig hoher Automatisierungsgrad in der traditionellen industriellen Produktion, aber auch Unterschiede in der Technikaffinität und Nutzerakzeptanz der Bevölkerung zu nennen.

Technologisch ist Deutschland in der Industrierobotik sehr gut aufgestellt und steht gemeinsam mit Japan und Korea an der Spitze. Die Automobilindustrie und die Elektronikindustrie sind die Treiber der Entwicklung. In Deutschland sind viele technologische Innovationen, die auch die Servicerobotik betreffen, aus der industriellen Robotik hervorgegangen. In Japan und Korea dagegen, Ländern, in denen eine besonders hohe Serviceroboterdichte anzutreffen ist, existiert ein eindeutiger Fokus auf den Heimbereich bei Servicerobotern. Zudem kann bereits auf erste Ansätze von definierten Hard- und Softwareschnittstellen zurückgegriffen werden, die durch Modularisierung einfache Austauschbarkeit der Komponenten, sogenanntes „Plug&Play“, ermöglichen. In beiden Ländern werden Serviceroboter bereits vielfach in öffentlichen Einrichtungen, wie zum Beispiel Krankenhäusern zum Transport bzw. an Grenzübergängen zur Überwachung, aber auch in Privathaushalten, zum Beispiel als Haushaltsroboter zum Reinigen von Böden, eingesetzt.



Hand-Exoskelett

Weiterhin ist bei der Bevölkerung dieser asiatischen Länder traditionell sowohl eine größere Technikaffinität als auch Technikakzeptanz vorzufinden. Insgesamt sind dennoch als Barrieren für weitere erfolgreiche Serviceroboter-Anwendungsfelder technologische und ökonomische, aber auch gesellschaftliche Aspekte wesentlich.

In den Vereinigten Staaten werden Serviceroboter wie der Staubsauger Roomba zwar ebenfalls bereits millionenfach eingesetzt, die meisten industrienahen Serviceroboter werden jedoch aus Asien oder Europa importiert. Als technologische Innovatoren fungieren in den USA vor allem Rüstungsunternehmen und militärische Forschungsprogramme.

In China sind bisher in erster Linie Industrieroboter im Einsatz. Es wird damit gerechnet, dass China spätestens bis 2015 in diesem Bereich die meisten Roboter weltweit einsetzen wird.

Es werden zukünftig in Europa, Asien und in den USA erhebliche Mittel zur Verfügung stehen, deren Auswirkungen sich jedoch erst in den nächsten Jahren zeigen werden. Aktuellen Schätzungen zufolge stellt sich der Vergleich zwischen Aktivitäten und den erreichten Ergebnissen wie folgt dar:

Bereiche der Robotik / Servicerobotik	Grad der Aktivitäten, Ergebnisse und Bewertung					
	USA	China	Japan	Korea	Europa	Deutschland
Universitäre Grundlagenforschung	sehr hoch	gering	hoch	mittel	mittel	hoch
Anwendungsbezogene Industrieforschung (nationale Labors in Zusammenarbeit)	mittel	gering	sehr hoch	hoch	hoch	hoch
Nationale oder multinationale Forschungsinitiativen oder Programme	mittel	k. A.	sehr hoch	sehr hoch	hoch	hoch
Forschung-Industrie-Politik Partnerschaften, Unternehmenskooperationen	gering	k. A.	sehr hoch	sehr hoch	hoch	hoch
Roboter-Fahrzeuge: Militär und Zivil	gut / sehr gut	k. A.	gering	gering	gut	gut
Weltraumrobotertechnik	sehr gut	k. A.	gering	k. A.	mittel	mittel
Humanoide Roboter	gering	k. A.	sehr gut	gut	gering	gering
Industrieroboter: Fertigung	gering	gering	sehr gut	gering	mittel	sehr gut
Serviceroboter: sonstige, nicht in der Fertigung	gering	k. A.	mittel	gut	mittel	mittel
Personenbezogene Roboter: Wohnung	mittel	k. A.	gut	gut	mittel	mittel
Biologische / biomedizinische Anwendungen	gut	k. A.	gering	gering	gut	gut

Tabelle 1: Bereiche der Servicerobotik, Aktivitäten und Ergebnisse der Länder
Quelle: Einschätzung der VDI / VDE - IT 2012

2. Aktuelle Anwendungsfelder und Anwendungen der Servicerobotik

Es wird erwartet, dass in Deutschland – anders als etwa in Asien – die Diffusion der Servicerobotik über den Weg neuester, für die Servicerobotik adaptierbarer Entwicklungen aus der Industrierobotik stattfinden wird.

Die Servicerobotik bietet Funktionalitäten, die von heutigen Industrierobotern nicht erreicht werden. So können u. a. eigentlich schwer automatisierbare Arbeitsabläufe durch robotische Assistenz wesentlich unterstützt werden.

Besonders deutlich werden die Unterschiede in Anwendungsbereichen der kommerziellen und privaten Servicedienstleistungen. Hier leisten bereits heute sogenannte Wachroboter, die in ihrer Wirtschaftlichkeit und Effizienz unumstritten sind, wertvolle Dienste. Auch für andere Anwendungsfelder gibt es bereits kommerziell verfügbare Lösungen. Dazu zählen

- Floorcleaner,
- Exoskelette,
- autonome Transportfahrzeuge und
- autonome Flugsysteme zur Überwachung.

Die bereits vorhandenen Fähigkeiten von Servicerobotern decken also einen Bereich ab, der von klassischen Industrierobotern nicht erreicht und auch nicht erwartet wird. Die realisierten Serviceroboter agieren in der Regel autonom, sind mit einer Reihe von Sensoren zur Erfassung der Umgebung ausgestattet, sind energieautark (Batterien) und besitzen ein Mindestmaß an „Intelligenz“, um u. a. den Abgleich von Umweltinformationen auf die Aufgabenstellung vornehmen zu können. Die Kommunikation mit anderen Systemen oder mit dem Menschen muss üblicherweise über Drahtlossysteme sowie optische und akustische Schnittstellen geschehen. Auch wurden bereits erste Prototypen von Servicerobotern, die im industriellen Umfeld den Werker bei seiner Arbeit unterstützen, im realen Einsatz getestet.

Von besonderer Bedeutung für Servicerobotik-Systeme sind Antworten auf die Frage, unter welchen Voraussetzungen Serviceroboter für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen wirtschaftlich einsetzbar sind und welche technischen oder technologischen Hürden hierzu in naher Zukunft überwunden werden müssen. Die im Folgenden dargestellte Tabelle zu Anwendungsbereichen und Anwendungsfeldern entstand durch die Klassifizierung der aktuellen Entwicklungen im Themenfeld der Servicerobotik.

Anwendungsfelder und -Bereiche der Servicerobotik

		Anwendungsfelder				
		Industrie	**Kommerzielle Dienstleistung**	**Häuslicher Service**	**Sicherheit**	**Raumfahrt**
Anwendungsbereiche	Robotischer Arbeiter (autonom)	3.1	3.1			✓
	Robotischer Co-worker Assistenzroboter (Roboter-Mensch)	3.2	3.2		✓	✓
	Logistik Roboter	✓	✓	✓		
	Roboter zur Überwachung und Intervention				3.3	
	Roboter zur Exploration, Inspektion und Wartung		3.4		✓	✓
	Roboter zur Schulung und für Spiele		✓	✓		

Tabelle: 2
Quelle: VDI / VDE-IT

Die in Tabelle 2 hervorgehobenen Anwendungsfelder decken die Anwendungsszenarien und Bereiche ab, die sowohl nach Ansicht der Autoren als auch von internationalen Fachkreisen[1] zukünftig für eine Vielzahl von Applikationen an Bedeutung gewinnen können. Die Darstellung kann als Anhaltspunkt in Bezug auf zukünftig tragfähige und wirtschaftlich relevante Entwicklungen lohnenswerter Felder verstanden werden und markiert auch die Bereiche der Servicerobotik, in denen bereits erste Entwicklungen stattgefunden haben.

2.1 Einsatz in industriellen Anwendungen

Die Vorstufe zum Assistenzroboter, der mit dem Menschen innerhalb eines industriell durchzuführenden Prozesses interagiert, ist der robotische Arbeiter. Er wird als ein weitgehend autonomer Fertigungsroboter angesehen, der in der Lage ist, innerhalb eines festgelegten Rahmens flexibel und adaptiv bestimmte Aufgaben selbstständig und unbeaufsichtigt zu bearbeiten. Man könnte diesen Robotertyp auch als einen autonom agierenden Serviceroboter bezeichnen, der beliebig oft und einfach an die durchzuführenden Arbeitsprozesse angepasst werden kann. Im Vordergrund steht die Fertigung kleiner Serien. Durch diese Fähigkeiten könnten robotische Arbeiter prinzipiell auch im Bergbau, in der Forst- und Landwirtschaft, beim Recycling und Rückbau sowie bei der Wartung und Reinigung eingesetzt werden.

Die Aktionen der robotischen Arbeiter werden im Allgemeinen nicht durch den Menschen, sondern von den zu bearbeitenden Objekten ausgelöst. Auch Prozesse können hier die Aktionen bestimmen. Die in diesem Bereich verfügbaren Anwendungen sind u.a. Roboter für die schnelle und adaptive Fertigung für geringe bis mittlere Stückzahlen in einem begrenzten Umfeld (heute aufgrund von Beschränkungen und möglichen Gefährdungen meist in einer Fertigungszelle).

[1] Diskussionen im Rahmen der Automatica 2012, HMI 2012 und und des EUROP-Meetings Odense 2012

Voraussetzung dafür sind die gegenüber bisherigen Industrierobotern verbesserten Fähigkeiten auf der Basis neuer Sensorik, Sensorfusion und Software. Sie ermöglichen auch die einfache Anpassung an Änderungen im Arbeitsprozess durch robotereigenes Prozesswissen und intelligente Verfahren der Instruktion durch einen Menschen.

Neben den ortsfest agierenden Servicerobotern gewinnen mobile Servicerobotik-Systeme an Bedeutung. Sie können sich je nach auszuführendem Prozess z. B. auf vorgegebenen Bahnen zwischen den jeweiligen Arbeitsplätzen bewegen. Zur Umgebungserfassung und Navigation ist ein gewisser Grad an „Intelligenz“ und „Lernfähigkeit“ erforderlich. Betreffende Systeme haben das Prototypenstadium noch nicht wesentlich überschritten.

In allen genannten Bereichen sowie im industriellen Umfeld werden bereits heute erste robotische Systeme getestet. Obwohl die hier adressierten robotischen Systeme eine nur geringe oder bedingt vorhandene Alltagstauglichkeit aufweisen, werden sie heute bereits als Serviceroboter bezeichnet, da ihre Fähigkeiten für die Servicerobotik von hoher Bedeutung sind.

2.2 Assistenzroboter

Robotische Co-Worker oder Assistenzroboter sind aufgrund ihrer

1. im Rahmen des vorgegebenen Kontextes frei bestimmbaren Funktionalität,
2. Adaptionsfähigkeit an entsprechende Prozesse,
3. sensorischen Fähigkeiten wie Umgebungserfassung in Echtzeit,
4. Lernfähigkeit bzw. leichten Instruierbarkeit und ihrer
5. Kommunikationsfähigkeit mit dem Menschen

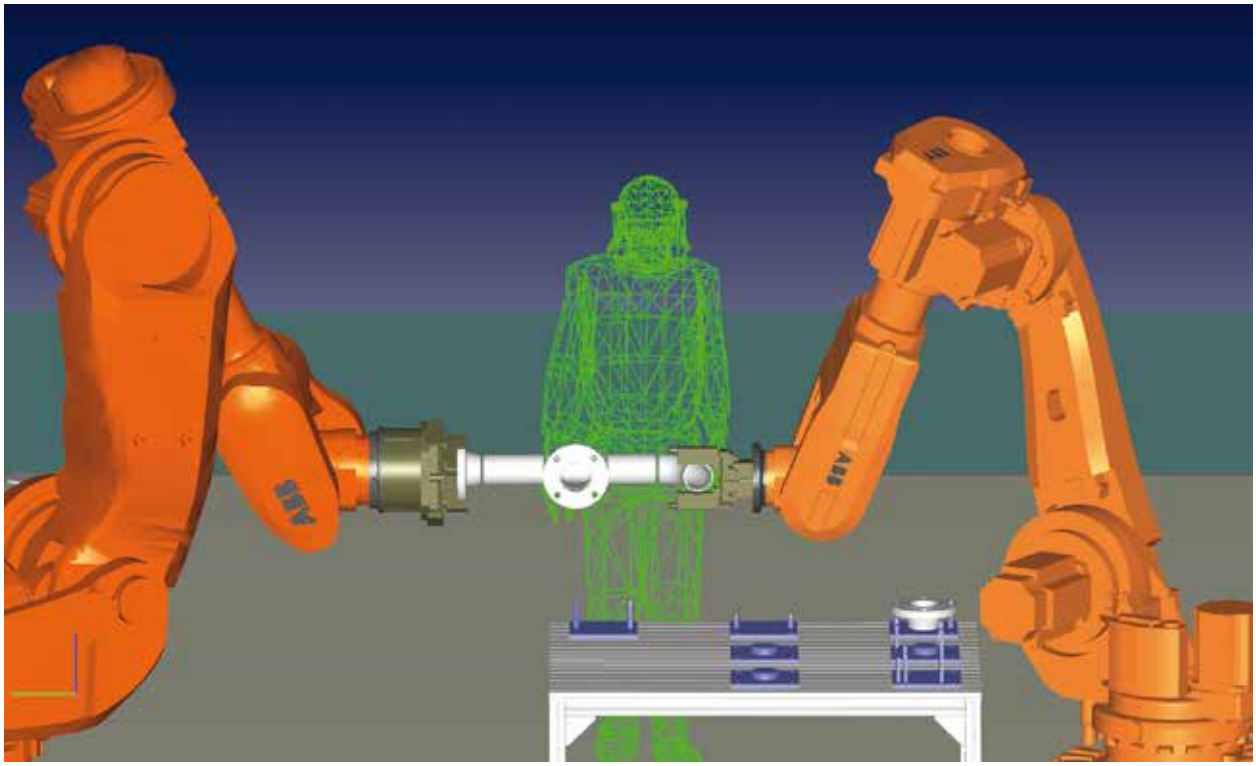
als echte Serviceroboter zu verstehen. Der robotische Co-Worker ist speziell für die Zusammenarbeit mit dem Menschen vorgesehen. Kennzeichnend ist die den Menschen (Arbeiter) in unterschiedlichem Arbeitskontext unterstützende Funktion. Die Anwendungsbereiche können sehr breit gestreut sein.

Erste Entwicklungen sind für den kommerziellen Einsatz in der Werkstatt und industriellen Produktion von Kleinserien vorgesehen, allerdings sind in Zukunft auch Anwendungen in der Agrar- und Forstwirtschaft, der Bauwirtschaft, im Handwerk oder im häuslichen Bereich (Home Care) denkbar. Aber auch Assistenzfunktionen im medizinischen Bereich, insbesondere im Krankenhaus (OP-Roboter, Rehabilitation, etc.) kommen für eine Umsetzung infrage.

Die aktuellen Entwicklungen haben vor allem ein hohes Maß an Alltagstauglichkeit und eine einfache „Unterweisung“ des Serviceroboters im Fokus. Dabei soll das System wesentliche Instruktionen z. B. durch „Zeigen“ und „Vormachen“ erlernen. Jedoch sind die taktilen Fähigkeiten (Tastsinn) sowie die Erfassung und Interpretationen der Umgebungen (Recognition, Tracking, Classification) in Echtzeit noch nicht ausreichend entwickelt. Aktuelle Forschungen befassen sich u.a. mit der Entwicklung leistungsfähiger Mensch-Maschine-Interfacees (HMI) zur Instruktion derartiger Servicerobotik-Systeme. Die dabei bisher erreichten Ergebnisse sind ermutigend, jedoch für einen kommerziellen Einsatz noch nicht ausreichend.

Fähigkeiten wie die Wiederholgenauigkeit, das Tragen und genaue Positionieren unterschiedlich schwerer Objekte sind aufgrund leistungsfähiger Sensorik und Adaptionsfähigkeit bereits Stand der Technik und im industriellen Einsatz nötig. Auch die Erstellung eines dynamischen Menschmodells, das eine unabdingbare Voraussetzung zur Darstellung der Mensch-Roboter-Kooperation (MRK-Applikationen) ist, wurde bereits erfolgreich getestet und in realistischen Demonstrationen gezeigt (u.a. AUTONOMIK-Projekt rorarob). Die betreffenden Entwicklungen befinden sich in der Erprobungsphase.

In der Industrie eingesetzte Systeme (Bosch) können zwar hinreichend akkurat Aufgaben in einem verteilten Fertigungsprozess durchführen, die Übergabe des bearbeiteten Werkstücks an den Menschen hängt jedoch davon ab, wann dieser mit seinen Arbeiten fertig ist. Bisher muss der Werker ein Signal geben (z. B. Knopfdruck), damit der Serviceroboter weiß „jetzt bin ich wieder dran“. Mit entsprechender Intelligenz könnte der Serviceroboter diesen Moment selbst erkennen.



rorarob-Montagesimulation

Dieser sehr klein anmutende Schritt, das Mitdenken im Prozess, stellt jedoch sehr hohe Anforderungen an die perzeptive Intelligenz und an das Kontextwissen des Roboters. Zusätzlich ist ein Minimum an Lernfähigkeit notwendig, um sich auf Varianzen im Prozess einstellen zu können. Zwischen kooperierenden Robotern wird diese Fähigkeit größtenteils durch die übergeordnete Prozesssteuerung ersetzt.

Es zeigt sich, dass das Thema Mobilität einen zusätzlichen Komplexitätsgrad darstellt, der durchaus unabhängig vom eigentlich durchzuführenden Prozess behandelt werden kann. Im industriellen Umfeld sind intelligente Hol- und Bringdienste (z. B. Werkstück annehmen, transportieren, Werkstück anreichen; AUTONOMIK-Projekt: AGILITA) im Fokus der Betrachtung. Im Unterschied zu einem Fahrerlosen Transportsystem (FTS) sind jedoch die Assistenzfunktionalitäten zur Übergabe eines Werkstücks an den Werker bzw. Übernahme vom Werker wesentlich.

2.3 Serviceroboter zur Überwachung und Intervention

Serviceroboter zur Überwachung und Intervention sind in der Regel mobile und autonom agierende Serviceroboter. Diese Klasse von Servicerobotern führt im Gegensatz zum Co-Worker ihre Funktionen völlig autonom, also nicht notwendigerweise in direkter Kooperation mit Menschen, aus. Kennzeichnend sind je nach Anwendungsbereich die erforderliche Mobilität, die Fähigkeit zur Navigation in einer unstrukturierten und ggf. sich bewegenden Umgebung, die Fähigkeit, dieses Umfeld zu erkennen, zu interpretieren und zu klassifizieren sowie Objekte zu verfolgen (recognition, tracking and classification). Zur Durchführung der spezifischen Aufgaben muss ein gewisses Maß an „Intelligenz“ und „Lernfähigkeit“ vorhanden sein. Zudem sind besondere Fähigkeiten zum Austausch von Informationen aller Art, zum Beispiel mit anderen Systemen oder Servicerobotern erforderlich. Die Kommunikation findet drahtlos statt, beispielsweise mit nicht störbaren Kommunikationsverfahren.

Die größten Anforderungen werden an Serviceroboter zur Überwachung und Wartung in Gebäuden oder auf dem Gelände gestellt. Hier sind vor allem robuste und störungssichere Fortbewegungsmodule (Mobilitätsplattformen) erforderlich, die über eine zuverlässige Steuerung und Koordination verfügen. Gleiches gilt für die Navigation. Für den Einsatz in bzw. aus der Luft oder unter Wasser sind diese Anforderungen erstaunlicherweise weniger komplex, weil es weniger Probleme mit Hindernissen gibt (Balkenproblem).

Inzwischen ist die Entwicklung derartiger Systeme weit fortgeschritten. Ursache hierfür sind vor allem die Bemühungen der USA, konventionelle Systeme im Bereich Verteidigung und „Homeland Security“ durch automatische bzw. autonome Systeme zu ersetzen (Aufklärungsdrohnen und Drohnen zur Intervention sind aktuell im Einsatz u.a. in Afghanistan und Pakistan). Die zur Verfügung stehenden Finanzmittel sind hier um ein vielfaches höher als diejenigen für zivile bzw. kommerzielle Entwicklungen.

Die betreffenden Systeme werden heute weitgehend aus militärischen Entwicklungen abgeleitet. Im privaten Umfeld ist diese Klasse von Servicerobotern u.a. mangels Bedarf, Akzeptanz und aufgrund der hohen Systempreise kaum anzutreffen.

2.4 Serviceroboter zur Exploration, Inspektion und Wartung

Serviceroboter zur Exploration, Inspektion und Wartung haben in der jüngsten Vergangenheit eine wachsende Aktualität gewonnen. Einsatzszenarien wie sie bei dem Reaktorunfall in Fukushima entstanden, befeuern die Entwicklungen entsprechender Servicerobotersysteme. Ein weiteres Anwendungsfeld sind sogenannte AUV’s (Autonomous Underwater Vehicle) zur Inspektion von Pipelines und Unterseekabeln. Diese Arbeiten werden heute noch häufig von RUV’s (Remote controlled Underwater Vehicle’s) erledigt, also von schiffsgeführten Missionen mit entsprechendem Technik-, Personal- und Kosteneinsatz. Gleiches gilt für die Erkundung von submarinen Lagerstätten und das Auffinden von verlorengegangenem Gut (Reaktorkerne russischer U-Boote in der Barentssee).

RoboGasInspector findet Gaslecks

Während sich ein an Land operierender Inspektions- und Wartungsroboter per Funk, GPS und weitere Kommunikations- und Lokalisierungsverfahren orientieren kann, ist dies unter Wasser nur mithilfe weiterer Orientierungs- und Navigationsverfahren möglich. Sie sorgen dafür, dass sich der Inspektions- und Wartungsroboter genau orientieren, selbst lokalisieren und parallel dazu eine Karte der eigenen Umgebung erstellen bzw. sich anhand einer vorgegebenen Karte orientieren kann.

Die Beurteilung des zu prüfenden Gutes (Unterseekabel) oder der zu messenden Parameter (CH4-Gehalt) wird von am Serviceroboter vorhandenen Sensoren oder Sensorclustern ermöglicht. Besitzt der Serviceroboter die entsprechende „Intelligenz“, ist eine unmittelbare Aus- und Bewertung der vorgefundenen Situation und damit die direkte Intervention möglich (z. B. Absperren eines Ventils; AUTONOMIK-Projekt: RoboGasInspector). Allerdings wird für die Wartung ein geeigneter Manipulator benötigt.

3. Beispiele Industrieller Servicerobotik aus den AUTONOMIK-Projekten

AutoBauLog

Im Projekt AutoBauLog werden Baumaschinen einer Großbaustelle intelligent vernetzt, so dass sie ihre Situation im Zusammenhang mit den ihnen übertragenen Aufgaben wahrnehmen, bewerten und optimieren können. Dazu werden sie in die Lage versetzt, als weitgehend eigenständige und zielgesteuerte Einheiten zu handeln.

Die im Projekt AutoBauLog eingesetzten servicerobotischen Baumaschinen sollen selbständig miteinander kooperieren und damit einen effektiveren Baustellenbetrieb ermöglichen. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die sinnvolle Koordination der einzelnen Akteure, wie Bagger, LKW oder Walzen. Um ungewollte Leerlaufphasen im Bauprozess zu vermeiden ist es notwendig, dass sich die einzelnen Maschinen miteinander absprechen. Gleichzeitig müssen sie kontinuierlich über den Baufortschritt berichten. Die Informationen zu den einzelnen Bauprozessen müssen an zentraler Stelle zusammengeführt, strukturiert und übersichtlich aufbereitet werden.

Durch intelligente Software und Sensorik werden die Baumaschinen in die Lage versetzt, ihre Situation im Zusammenhang mit den ihnen übertragenen Aufgaben wahrzunehmen und sich zu Maschinenteams zu formieren. Dadurch wird eine weitreichende Kooperation der am Bauprozess beteiligten Maschinen möglich. Die Planungsphase des Bauprozesses wird durch Simulationen unterstützt, auf deren Basis dann die Prozesssteuerung erfolgt. Hierzu werden die von den einzelnen Fahrzeugen bereitgestellten Daten in einem zentralen Leitstand zusammengeführt. Für eine effektive Koordination und Prozesskontrolle werden die aktuellen Prozessdaten der beteiligten Baumaschinen laufend mit den vorgegebenen Prozessdaten verglichen. Die Visualisierung des Bauprozesses geschieht mit Hilfe von Virtual-Reality-Software. So haben die verantwortlichen Baustellenbetreiber zu jeder Zeit Einsicht in die servicerobotischen Bauprozesse.

AutoPnP

Das Projekt AutoPnP entwickelt einheitliche Hard- und Softwarestandards, damit einzelne Roboterkomponenten ohne großen Aufwand ausgetauscht oder bestehende Robotersysteme erweitert werden können.

Der Austausch mit oder die Erweiterung um einzelne Komponenten ist innerhalb eines Serviceroboter-Systems nur möglich, wenn die einzelnen Bestandteile miteinander kompatibel sind. Diese Plug&Play-Fähigkeit der Komponenten verkürzt nicht nur den Produktionsaufwand der Maschinen, sondern ermöglicht auch eine kostengünstigere und schnellere Wartung.

AutoPnP entwickelt eine offene Software-Infrastruktur, in die neue Komponenten wie Prozessoren, Sensoren und Aktoren unkompliziert integriert werden können, ähnlich neuer Software-Module beim PC. Gleichzeitig erforscht das Projekt, wie Serviceroboter ihr Zusammenspiel, z. B. in einer Produktionsstraße, möglichst autonom organisieren können. Analog zur Informationstechnik, bei der eine sogenannte serviceorientierte Architektur (SOA) dazu dient, Dienste einheitlich zu beschreiben und wieder verwendbar zu machen, zielt AutoPnP auf die Entwicklung einer neuen Grundlage für eine standardisierte Beschreibung von Diensten, Komponenten und Schnittstellen in der Automatisierungstechnik.

marion

Ziel des Projekts marion ist eine Roboterisierung von Arbeitsprozessen mit autonomen Fahrzeugen unter Berücksichtigung des gesamten landwirtschaftlichen Wertschöpfungsprozesses. Alle beteiligten Maschinen müssen hierfür miteinander kooperieren. Dafür ist es nicht nur notwendig, dass die Maschinen wie Mähdrescher oder Traktoren auf Veränderungen in der Umgebung eigenständig reagieren können, sondern auch, dass sie sich untereinander absprechen und sicher zusammenarbeiten. Auch die Interaktion zwischen autonomen und personengeführten Fahrzeugen stellt eine wesentliche Herausforderung dar.

Durch die Fusion unterschiedlicher Sensoren in Kombination mit Ortungssystemen können die Maschinen die jeweils vorliegende Situation bewerten. Das Planungsergebnis wird dann per Funk an die miteinander vernetzten mobilen Maschinen übertragen.

Autonomes FTS der Still GmbH

Dies versetzt die Fahrzeuge in die Lage, den gesamten Ernteprozess vollkommen eigenständig durchführen zu können. Über eine intelligente Planungssoftware kann der Anwender darüber hinaus die ökonomischen und ökologischen Kriterien des Planungssystems individuell gewichten. Eine vorausschauende Simulation unterstützt die Optimierung der Planung. Die entwickelten Technologien sind auch auf andere Automatisierungsszenarien im innerbetrieblichen Transport übertragbar.

RoboGasInspector

Wie Roboter frühzeitig Gaslecks in technischen Anlagen finden, zeigt das Projekt RoboGasInspektor. Dort wird ein innovatives Mensch-Maschine-System mit intelligenten, kooperierenden und mit Gasfernmesstechnik ausgestatteten Inspektionsrobotern entwickelt. So können Inspektionen von technischen Anlagen weitgehend autonom bewältigt werden.

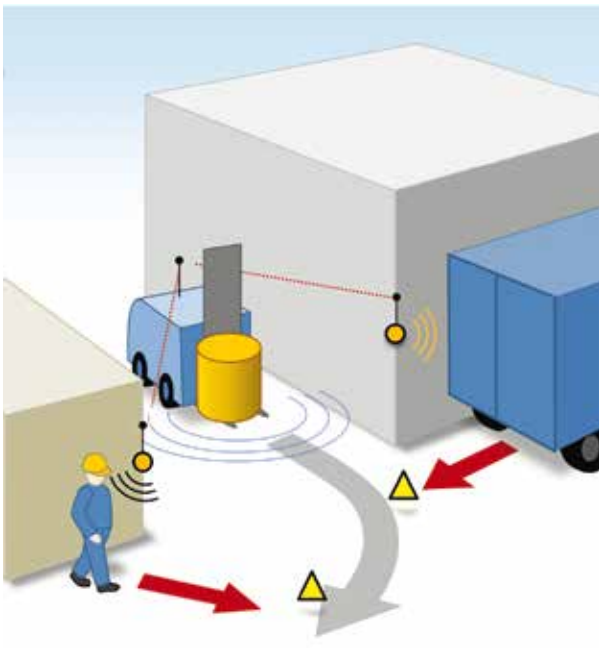
Damit ein Serviceroboter vorbestimmte Wegpunkte autonom anfahren kann, muss er sich innerhalb eines Raumes genau orientieren können. Hierfür ist es notwendig, dass der Serviceroboter sich selbst lokalisiert und parallel dazu eine Karte der eigenen Umgebung erstellt. Diese SLAM-Fähigkeit, Simultaneous Localization and Mapping, ist grundlegend für die sichere Mobilität.

Die autonome und mobile Serviceroboterplattform, die im RoboGasInspektor verwendet wird, kann sich durch eine GPS-Lokalisation und RFID-Unterstützung innerhalb eines Geländes verorten. Durch die Vernetzung mit dem Internet können nicht lokal gemessene oder gespeicherte Daten übermittelt werden, wie z. B. aktuelle Wetter- oder Anlageninformationen. Darüber hinaus kann der RoboGasInspektor so mit anderen Robotern und dem Anwender kommunizieren.

rorarob

Ziel des Projekts rorarob ist die Entwicklung eines Roboterassistenzsystems zur Bearbeitung von Schweißaufgaben in der Rohr- und Rahmenfertigung. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine unter ergonomischen und ökonomischen Aspekten ist ein wesentlicher Aspekt des Projekts.

Der Roboter unterstützt den Schweißer bei seiner Arbeit



Sichere und schnelle Fortbewegung durch Umgebungsbild

Um den Schweißer bei seiner Arbeit zu unterstützen, muss der Roboter das Werkstück in die für den Arbeitsprozess günstige Position bewegen. Dabei darf jedoch kein Sicherheitsrisiko für den beteiligten Facharbeiter entstehen. Für das Zusammenfügen der komplexen Konstruktionen sind darüber hinaus zusätzliche Daten über Werkstoffe und Werkzeuge nötig. Diese müssen dem Schweißer während des Arbeitsprozesses zur Verfügung gestellt werden.

Eine 3D-Kamera überwacht den Fertigungsprozess, damit der Facharbeiter während des Schweißens nicht aus Versehen vom Roboter gestoßen und verletzt wird. Sie erfasst den Arbeiter und fertigt ein jeweils aktuelles 3D-Modell an. Die Software errechnet ein Gesamtbild von Mensch und Maschine und verhindert dadurch ungewollte Kollisionen. Online übertragene Daten zu den verwendeten Schweiß-Komponenten informieren den Arbeiter zusätzlich über Materialbeschaffenheit oder Werkzeuge.

SaLsA

SaLsA entwickelt autonome Transportfahrzeuge, die sich im Außenbereich sicher und schnell in einer gemeinsamen Arbeitsumgebung mit klassischen personengeführten Fahrzeugen und Personen bewegen.

Ein wichtiger Faktor für die Verbreitung von Servicerobotern ist ihre Fähigkeit, sich autonom, sicher und schnell bewegen zu können. Bisher können sich beispielsweise Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) aufgrund von Sicherheitsbestimmungen nur sehr langsam bewegen. Besonders auf großen Betriebsgeländen ist ein effektiver Transport so nur bedingt möglich. Um sich jedoch schnell und sicher fortbewegen zu können, müssen die Roboter andere Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger oder personengeführte Fahrzeuge erkennen und sie in ihre Routenplanung integrieren. Potenzielle Gefahrensituationen müssen frühzeitig erkannt werden. Die Transportroboter müssen dafür über ein Umgebungsbild verfügen, das über den Sichtbereich der Fahrzeuge hinausgeht.

Zur Gewährleistung eines sicheren autonomen Fahrens kombiniert SaLsA Daten aus Fahrzeugsensoren und stationären Sensoren sowie weiteren Informationsquellen wie Kartendaten oder Prozessinformationen. Diese Informationen werden zu einem Gesamtmodell der aktuellen Umgebungssituation verknüpft und ermöglichen SaLsA, auch schwer einsehbare Umgebungen wahrzunehmen. Der Serviceroboter kann so „um die Ecke schauen“. Das aus den unterschiedlichen Sensordaten kombinierte Umgebungsmodell ergibt zusammen mit Vorhersagetechniken einen Planungshorizont für die möglichen Bewegungen aller mobilen Objekte. So können die Transportroboter eine sichere Bahnplanung und Spurführung entwickeln.

viEMA

viEMA entwickelt ein skalierbares, roboter- und sensorgestütztes Montagekonzept, das je nach Situation den Wechsel von Hand- auf Automatenmontage zulässt.

Wichtig für den flexiblen Wechsel zwischen Hand- und automatisierter Montage ist die Möglichkeit, neue Tätigkeiten ohne kompliziertes Anleiten schnell zu erlernen. Gleichzeitig muss er die Fähigkeit besitzen Werkstücke zu erkennen, von einer Ablage zu greifen und einen Werkstückträger an einer vordefinierten Stelle einzufügen.

Durch die Entwicklung sogenannter Einlern- und Ausführungsstrategien können Arbeiter den Roboter „an die Hand“ nehmen und mit neuen Aufgaben vertraut machen. In einer Objekt- bzw. Skill-Datenbank werden vordefinierte und erlernte Bewegungsabläufe gespeichert und können bei Bedarf wieder abgerufen werden. Über das Internet oder andere Netzwerkverbindungen kann der Roboter auch auf externe Datenbanken zugreifen und Bewegungsabläufe von anderen Robotern integrieren. Die sensorgestützte Wahrnehmung ermöglicht dem viEMA-Roboter eine 3D-Objekterkennung und ein sicheres Greifen und Anordnen von Gegenständen.

4. Entwicklungsperspektiven

Neben den bereits genannten Herausforderungen Sicherheit, Kosten und Nutzerfreundlichkeit sind für die Mensch-Serviceroboter-Kollaboration nachfolgend aufgeführte weitere Forschungsarbeiten notwendig. Nur ein möglichst interdisziplinäres, paralleles und eng verzahntes Entwickeln aller im Gesamtsystem erforderlichen Komponenten wird letztlich eine optimale Systemlösung hervorbringen können.

4.1 Wahrnehmung von und Navigation in der Welt

Eine immer noch bestehende Kernproblematik für den erfolgreichen Einsatz von mobilen Servicerobotern stellt die Verbesserung der Wahrnehmungsfähigkeiten dar, um in schneller Geschwindigkeit die Umgebung akkurat zu erfassen und zu interpretieren, Hindernisse zu erkennen und Objekte zur Bearbeitung zu identifizieren und zu verfolgen. Bei beinahe allen autonomen Servicerobotern ist der Einsatz von „intelligenten“ Sensoren vorgesehen, die die eigene Standortbestimmung und Umgebungserfassung vornehmen bzw. erleichtern.

Ein wesentliches Ziel wissenschaftlicher Forschung ist auch das 3D-Sehen in Echtzeit. Dazu ist der Einsatz von verbesserter Sensorik notwendig, die in Kombination mit neuen, fortgeschrittenen Verfahren zur Informations- und Sensorfusion für eine deutlich verbesserte Datenbasis für die Umgebungserkennung und Objektidentifikation sorgen soll. Die aktuelle Forschung beschäftigt sich zum Beispiel mit in Spielkonsolen eingebauten, und damit günstig verfügbaren, Tiefenbild-Sensoren (Microsoft Kinect als separates Addon zu Microsofts X-Box), die ein relativ genaues Bild der Umgebung liefern, aber bei deren Sensorik die Objektunterscheidung noch Schwierigkeiten macht. Weiterhin gibt es Bemühungen vieler Hersteller, entsprechende Tiefenbildkamera-Sensorik weiter zu verkleinern und noch leichter integrierbar zu machen.

4.2 Lernfähigkeit und Adaptivität

Die Kognitionsforschung stellt einen weiteren wichtigen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt dar. Zur Interpretation und Klassifikation der Umgebung und von Objekten in der Umgebung ist neben verbesserter Sensorik eine entsprechende kognitive Leistung notwendig. Hier sind vor allem Verfahren des maschinellen Lernens zu erwähnen, bei denen zum Teil, ähnlich wie beim Menschen, durch aktive Exploration der Umwelt Daten gesammelt und bewertet werden. Dies ist sowohl für die Robotik- als auch für die Kognitionsforschung absolut wesentlich. Dabei bedeutet Lernen auch, Abstraktionen zu entwickeln und Begrifflichkeiten oder Sichtweisen zu finden, die das Erfahrene beschreib-, handhab- und überschaubar machen. Grundsätzlich wird auf diese Art und Weise aus den Fehlern gelernt und die Komplexität von Bewegungen und Handlungen reduziert. Das Ziel solcher Verfahren ist letztlich, aktuelle Sensorinformationen so zu nutzen, dass immer nur das der jeweiligen Situation angemessenste Verhalten verwendet wird. Auf diese Weise wird die Fähigkeit zur Anpassung an die Umwelt forciert, die für einen angemessenen Einsatz in dynamischen Umgebungen essentiell ist.

4.3 Autonome Interaktion mit der Umgebung

Um erfolgreich verschiedene Aufgaben autonom durchzuführen, ist neben entsprechend fortgeschrittenen Wahrnehmungsfähigkeiten und geeigneten Adaptions- beziehungsweise Lernfähigkeiten auch eine direkte Interaktionsfähigkeit mit der Umwelt von großer Bedeutung. Dabei spielen Fähigkeiten wie das Aufsammeln, Tragen und Positionieren (verkürzt im englischen Sprachraum: „Pick-and-Place-Robots“, „bin-picking“) von beweglichen Objekten eine große Rolle. Eine große Herausforderung besteht hierbei vor allem im Zusammenspiel aus „intelligenter“ taktiler und optischer Sensorik und dem Manipulieren von Objekten in einer unstrukturierten, dynamischen und komplexen Welt, die das Planen und Ausführen von Handlungen erschweren. Auch hierfür sind neben einer besseren Datenbasis basierend auf immer präziserer Sensorik hochentwickelte Verfahren des maschinellen Lernens notwendig, die mittels probabilistischer Techniken lernen und Entscheidungen treffen. Prinzipiell sind auch die taktilen Fähigkeiten aktueller Serviceroboter noch nicht ausreichend entwickelt.

Mehrere aktuelle Forschungsstränge beschäftigen sich zum Beispiel mit sensorischer Roboter-„Haut“, die über eine große Empfindlichkeit gegenüber Berührungen und Temperatureinflüssen verfügt.

4.4 Sichere Mensch-Roboter-Interaktion

Beim Einsatz von industriellen Servicerobotern ist zu erwarten, dass eine räumlich und arbeitsteilig enge Kooperation von menschlichem und robotischem Arbeiter stattfinden wird. Ein wünschenswertes, aber noch nicht komplett umgesetztes Ziel aktueller Forschung besteht dabei darin, über Einlernstrategien den Roboter zu instruieren, so dass er Handlungen und Bewegungen unmittelbar an Ort und Stelle übernehmen und ausführen kann. Intuitiv nutzbare Gesten- und Sprachsteuerungen sollen gleichfalls für eine einfachere Programmierbarkeit, aber auch Steuerung sorgen.

Vor allem durch neuartige Sensorik, die im Zentrum vieler aktueller Forschungsprojekte steht, soll größere Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Interaktion erreicht werden, die vor allem gerade dann relevant wird, wenn Roboter und Menschen direkt miteinander arbeiten und die Gefahr einer Kollision oder sonstigen Gefährdung besteht. Zusätzlich wird auch die Gefahr der Manipulation der Steuerungssoftware als potenzielles Missbrauchsproblem gesehen und als weiterer Forschungsbedarf identifiziert. Es wird erwartet, dass sicherheitsrelevante Aspekte einen deutlich höheren Stellenwert als heute haben werden, sowohl bezüglich der Robustheit gegenüber Missbrauch, als auch hinsichtlich der Betriebssicherheit (Safety & Security). Bei der engen Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter wird ebenfalls eine Erkennung des menschlichen Verhaltens inklusive seiner Intention durch den Roboter angestrebt, um eine bessere Kollaboration zu ermöglichen. Umgekehrt soll das Verhalten des Roboters für den Menschen jederzeit vorhersehbar und nachvollziehbar sein, um gefährliche Situationen zu vermeiden und dem Menschen den Umgang mit dem Roboter zu erleichtern.

4.5 Energiebedarf und Lebensdauer

Eine gewisse Unabhängigkeit von Energiequellen und angemessene Ladezeiten sind für autonome Serviceroboter essentiell. Ebenfalls wird besonders pflegeleichte und wenig wartungsintensive Soft- und Hardware erforscht, die den dauerhaften Einsatz erleichtern und ökonomisch Sinn machen sollen.

4.6 Forschungsschwerpunkte in den genannten Anwendungsfeldern

4.6.1 Assistenzroboter (3.1 und 3.2)

In der Landwirtschaft steht je nach Einsatzart besonders die Wahrnehmung und Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit des Roboters im Vordergrund. Hier ist es erforderlich, dass zum Beispiel Ernteroboter innerhalb kürzester Zeit reife von unreifen Früchten unterscheiden können, wofür in Echtzeit arbeitende optische Sensoren und ausreichend schnelle Aktorik nötig sind, um zum Beispiel Greif- und Manipulationsbewegungen zu realisieren. Weiterhin ist entscheidend, dass etwa Transportroboter auch in sehr unwegsamen, hügeligen Geländen in verschiedenen Witterungsverhältnissen navigieren können müssen. Auch eine funktionierende Hinderniserkennung und, falls gewünscht, die Fähigkeit, im Schwarm mit anderen Robotern zusammen agieren zu können, ist von Bedeutung.

Während in der medizinischen Robotik vor allem sehr präzises, lokales Arbeiten gefordert ist, und die Mobilität keine große Rolle spielt, ist der Anspruch an die Mobilität bei Pflegerobotern generell eher groß. In der medizinischen Robotik sollen Roboter zumeist innerhalb einer Operationssaal-Umgebung Ärzten und anderen medizinischen Kräften helfen, zum Beispiel indem sie medizinische Instrumente anreichen oder tatsächlich bei der Operation assistieren. Hierfür müssen die Kommunikationsfähigkeiten des Roboters besonders ausgeprägt und zusätzlich weitentwickelte Greif- und Manipulationsfähigkeiten vorhanden sein.

Außerdem ist ein für den Nutzer nachvollziehbares Verhalten und ein menschliches Erscheinungsbild des Roboters von großer Bedeutung. Ausgestattet mit die-

Care-O-bot

sen Fähigkeiten können zur Pflege eingesetzte Roboter Materialien transportieren, aber auch Menschen bei Bewegungen und anderen Tätigkeiten assistieren. Dafür ist es dringend erforderlich, dass der Roboter auch eine angemessene soziale Kompetenz sowie Kommunikationsfähigkeit besitzt.

Einen großen Forschungsschwerpunkt im Heimbereich stellt sicherlich die Mensch-Maschine-Schnittstelle dar. Eine dem Stand der Technik entsprechende Sprachkommunikation muss integriert werden, Wahrnehmungssensorik muss einwandfrei funktionieren und die Aktionen des Roboters müssen nachvollziehbar gestaltet werden. Auch hier ist das äußere Erscheinungsbild für die Nutzerakzeptanz wesentlich. Die aktuelle Forschung beschäftigt sich mit der Frage, ob ein Roboter eher ein maschinelles oder ein menschliches Erscheinungsbild besitzen sollte. Bei Robotern für den Heimbereich spielt Energieautarkie keine große Rolle, während, ähnlich wie bei der medizinischen Robotik, Fähigkeiten wie die genaue manuelle Manipulation von Objekten und adäquate Bewegungs- und Navigationsfähigkeiten relevant sind.

4.6.2 Roboter für Militär, Sicherheit und Überwachung (3.3)

Für den Schwerpunkt militärische Anwendungen und dabei speziell Überwachung und Sicherheit stehen in der Servicerobotik Mobilitätsaspekte und die Weiterentwicklung vorhandener optischer Sensorik im Vordergrund. Ob als robotische Gefängniswächter oder zur Grenzüberwachung eingesetzt, Roboter zur Überwachung und Sicherung von Infrastrukturen, Grenzen und Gebäuden benötigen Fähigkeiten, die es ihnen ermöglichen, autonom größere Strecken zu bewältigen und Areale zu überwachen. Generell hoher Bedarf besteht in der Weiterentwicklung von Sensorik zur Umfelderkennung, wie zum Beispiel optische oder akustische Sensorik, um die Überwachungsfunktion bestmöglich ausüben zu können. Aber auch hier muss weiter an Verfahren geforscht werden, die die Kooperation mit anderen Robotern vereinfachen, um gemeinsam das zu observierende Objekt oder Gelände zu bearbeiten.

4.6.3 Roboter für Inspektion und Wartung (3.4)

Für Roboter, deren Einsatzgebiete im Wesentlichen bei der Inspektion und Wartung liegen, gelten ähnliche Herausforderungen wie bei der Assistenzrobotik im industriellen Umfeld. Der Fokus liegt allerdings noch mehr auf der Mobilität und Autonomie der Roboter, um eine robuste und störungssichere Navigation in unstrukturierten Umgebungen vorzunehmen und in diesen autark Handlungen durchzuführen. Dazu ist gleichfalls fortschrittliche Sensorik zur Umfelderkennung und ein hohes Maß an Lernfähigkeit beziehungsweise Adaption, bestenfalls in Echtzeit, notwendig. Zur besseren Datenkommunikation mit diesen zum Teil sehr verteilten Systemen besteht ein weiterer Forschungsbedarf auch in verbesserten Kommunikationstechniken sowie Rechner- und Softwaretechniken. Da diese Roboter häufig weite Strecken zurücklegen müssen, bestehen auch hohe Anforderungen in Bezug auf die Energieautarkie.

Die folgende Tabelle gibt eine vorläufige Einschätzung, wann die Forschung die aufkommenden Bedarfe voraussichtlich adressieren und eventuell lösen wird.

Forschungs-schwerpunkt	Herausforderungen	Erreichbare Funktionalitäten	Erwartungshaltung und Erreichbarkeit	
			2015	2025
Wahrnehmung und Navigation	Bessere Perzeption, auch in dynamischen Umgebungen	3D-Sehen in Echtzeit	Noch nicht geeignet für dynamische Umgebungen	Könnte eventuell realisiert
	Informationsfusion	Sensorfusion zur robusten Umfelderkennung	Wird im Wesentlichen erreicht	Wird weiterentwickelt und vorangetrieben
	Selbstlokalisation und Kartierung (SLAM)	Orientierung und Kartenerstellung	Wird im Wesentlichen erreicht	Wird weiterentwickelt und vorangetrieben
	Navigation	Navigation und Absprache auch im Schwarm	Schnellere Roboter bedeuten neue Herausforderungen	Wird im Wesentlichen erreicht
Mensch-Roboter-Interaktiona	Kommunikationsfähigkeit, Interaktion	Natürlich-sprachliche Kommunikation, Interaktion mittels Gestik	Einfache Sprach-kommandos und Sprachausgabe	Komplexe Dialoge sind möglich
	Erkennung und Erzeugung von Emotionen	Erkennung der sieben Basisemotionen	Wird noch nicht erreicht	Wird im Wesentlichen erreicht
	Sichere Interaktion durch Sensorik und Intentionserkennung	Intentionserkennung zur Vermeidung von Missverständnissen	Wird im Wesentlichen erreicht	Wird weiter vorangetrieben
	Haftung, Recht, Ethik, Soziales	Erarbeitung von Guidelines und Richtlinien	Beschäftigung mit Themen nimmt zu	Guidelines und Grundlagen werden geschaffen
Lebensdauer	Pflegeleichte Hard- und Software	Robuste, wartungsarme Hard- u. Software, leicht austauschbar	Wird noch nicht erreicht	Wird im Wesentlichen erreicht
	Energieversorgung mit dem Ziel Energieautarkie	Leistungsfähigere Batterien	Wird noch nicht erreicht	Wird vorangetrieben, bleibt wesentliches Ziel
	Innovative, leichtere Materialien	Geringes Gewicht, hohe Stabilität	Wird noch nicht erreicht	Wird im Wesentlichen erreicht
Kognitive Fähigkeiten	Autonomie	Selbständige Abarbeitung von komplexen Aufgaben	Wird noch nicht erreicht	Wird im Wesentlichen erreicht
	Adaptionsfähigkeit Lernfähigkeit	Bessere Anpassungs-fähigkeiten	Wird noch nicht erreicht	Wird im Wesentlichen erreicht
	Kognition und Künstliche Intelligenz	Schnelles Erfassen und adäquates Handeln	Wird noch nicht erreicht	Wird vorangetrieben, bleibt wesentliches Ziel
	Planen und Entscheiden	Schnelles kontextab-hängiges Handeln	Wird noch nicht erreicht	Wird vorangetrieben, bleibt wesentliches Ziel

Tabelle 3: Schwerpunkte und Bedarfe der Servicerobotik-Forschung und Abschätzung der Erreichbarkeit wesentlicher Eigenschaften von Servicerobotern bis 2020, angepasst aus Quelle: VDI / VDE - IT 2010

5. Softwarebasis für autonome Systeme und Servicerobotik, Referenzarchitektur

Für den Aufbau autonomer Systeme müssen benötigte, verfügbare und in unterschiedlichsten Kontexten entwickelte funktions- und leistungsbestimmende Komponenten zu einem neuen System zusammengefügt werden. Zum Nachweis der wirtschaftlichen Machbarkeit muss die Realisierung autonomer Systeme nicht nur durch proprietäre Neuentwicklungen, sondern auch durch die Integration vorhandener Komponenten deutlich vereinfacht und beschleunigt werden. Der Wunsch nach einer nahezu universellen Middleware für autonome Systeme, über die heterogene Komponenten kommunizieren und interagieren können, liegt nahe. Ersetzt man eine Komponente und integriert ihre Funktionalitäten, erfolgt dies über standardisierte Schnittstellen. Die Middleware bildet dabei die Basis; die Programmierung des Zielsystems ändert sich dadurch nicht. Sollte diese Kommunikationsfähigkeit greifen, ergäben sich gänzlich neue Optionen in Bezug auf

- die Modularisierbarkeit und Skalierbarkeit autonomer Systeme,
- die Arbeitsteilung beim Entwurf und bei der Realisierung autonomer Systeme (neue Geschäftsmodelle) sowie
- die Wirtschaftlichkeit solcher Systeme im Betrieb (Wartbarkeit, Erweiterbarkeit).

Die im Rahmen der Begleitforschung des Technologieprogramms AUTONOMIK begonnene Expertendiskussion zu diesem Thema befasste sich insbesondere mit folgenden Fragen und Aspekten:

- Welche Basisfunktionalitäten werden für den Betrieb autonomer Systeme benötigt?
- Wie muss ein solches „Betriebssystem“ konzeptionell aufgebaut sein, um die Integration unterschiedlicher Komponententechnologien – insbesondere bereits vorhandener – so einfach wie möglich zu gewährleisten?
- Wie muss eine Middleware beschaffen sein, die die Kommunikation technischer Komponenten eines autonomen Systems zuverlässig und ggf. in Echtzeit ermöglicht?
- Welche Voraussetzungen muss ein solches Betriebssystem erfüllen, um Modularisierbarkeit sowie automatische Konfiguration (Plug&Play-Fähigkeit) zu unterstützen?
- Was kann man von vorhandenen und vergleichbaren Ansätzen in anderen Bereichen lernen oder übernehmen, um rasch zu akzeptierten Lösungen zu kommen?

Ziel der Expertendiskussion war es, die Anforderungen an ein „Betriebssystem“ für smarte Objekte und Systeme in der Autonomik herauszuarbeiten, mögliche Realisierungsmaßnahmen zu skizzieren sowie konkrete nächste Schritte für eine Umsetzung zu empfehlen.

Die Interoperabilität und Kommunikationsfähigkeit (für viele Funktionen auch in Echtzeit) sind entscheidende Faktoren für das Zusammenspiel von Teilkomponenten in autonomen Systemen. Darüber hinaus sind Zuverlässigkeit (z. B. Prozesssicherheit / Safety) und die Option auf eine spätere Zertifizierbarkeit weitere wesentliche Basisfunktionen.

Die zentrale Aufgabe der Interoperabilität lässt sich in drei Grade[2] einteilen :

1. Technische Interoperabilität – Daten können im System technisch ausgetauscht werden, dabei sind Format und Inhalt nicht standardisiert
2. Syntaktische Interoperabilität – Nachrichten der Systeme sind syntaktisch interoperabel, die Bedeutung der Nachricht ist nicht standardisiert
3. Semantische Interoperabilität – direkte Kommunikation der Systeme über standardisierte Inhalte von Nachrichten, echte PnP-Fähigkeit wird ermöglicht

Je allgemeiner und flexibler ein „Betriebssystem“ gestaltet ist, desto geringer ist die Standardisierung, mit zunehmendem Grad der Interoperabilität werden Standards spezifischer.

Für die semantische Interoperabilität wurden Kontext-Modelle zur Orientierung und kontinuierlichen

[2] Nach Daniela Nicklas, OFFIS/Universität Oldenburg

Kommunikation mit der Umwelt als wesentliche Voraussetzung zur Erfüllung der Basisfunktionalitäten benannt. Im Kontext-Modell kann die Middleware die Schnittstellen anderer Systeme, deren physikalische Eigenschaften sowie die physische Umgebung semantisch verarbeitbar abbilden und die für die Interaktion relevanten Ausschnitte autonomen Systemen bereitstellen. Dort könnten diese Modelle dann in der abstrakten Softwareschicht – die einen kognitiven Kern enthält – abgebildet werden, und somit zur Steuerung der zusammenwirkenden Subsysteme eingesetzt werden.

Aus Expertensicht weniger relevant sind die Punkte:

- **„Harte“ Echtzeitfähigkeit:** Garantierte Antwortzeiten in der Kommunikation sind bei der Kooperation autonomer Systeme nur für enggekoppelte Systeme und spezielle Anwendungsfelder notwendig. In einer heterogenen Umgebung, in der die Systeme drahtlos kommunizieren und mit häufig fehlerbehafteten Sensordaten arbeiten, müssen die autonomen Systeme eine gewisse Robustheit und Widerstandsfähigkeit aufweisen, die auch mit einer gewissen Streuung in den Kommunikationsantwortzeiten (bis hin zum Kommunikationsausfall) zurechtkommen muss. Die Middleware sollte jedoch in der Lage sein, Nachrichten sehr effizient im Sinne einer „Best Effort“-Echtzeit verteilen zu können und bei Bedarf harte Echtzeitmechanismen integrieren können.

- **Intelligenz als Funktion der Middleware:** Die tatsächliche Funktionalität der autonomen Systeme, also ihre „Intelligenz“, muss kein Teil der Middleware sein. Diese ist sehr anwendungsspezifisch und damit kaum allgemein realisierbar. Zudem liegt hier das Marktpotenzial innovativer Lösungen, so dass diese kaum in einer allgemeinen, unternehmensübergreifend eingesetzten Middleware integriert werden würden. Die Middleware könnte allerdings als Funktion anbieten, bestimmte anwendungsspezifische Funktionen z. B. auf leistungsstarker Hardware auszuführen, so dass autonome Systeme, die auf eingebettteten oder ressourcenschwachen Systemen laufen, diese dorthin „auslagern“ können (im Sinne eines Processing-Cloud-Ansatzes).

- **Wirtschaftliches Wertschöpfungspotenzial:** Eine Middleware, die nur die Basisfunktionalität zur Verfügung stellt, hat für sich gesehen kein wirtschaftliches Wertschöpfungspotenzial. Dieses entsteht erst durch den Einsatz im Zusammenspiel mit autonomen Systemen. Gäbe es eine solche Middleware nicht, müsste jeder Hersteller von autonomen Systemen die Basisfunktionalität wieder selbst neu entwickeln und die Systeme verschiedener Hersteller wären nicht interoperabel. Von einer herstellerübergreifenden Middleware würden also sowohl die Hersteller profitieren (da sie sich auf die Entwicklung der autonomen Systeme und ihrer Teilkomponenten konzentrieren können) als auch die Anwender (da sie verschiedene autonome Systeme nebeneinander verwenden können und sich nicht von einem Hersteller abhängig machen).

Der konzeptionelle Aufbau eines „Betriebssystems“ sollte auf heterogenen Kommunikationsprotokollen basieren. In den Diskussionen wurde an dieser Stelle der Begriff der „Middleware“ eingeführt, die neben der Kommunikationsfähigkeit auch bestehende Funktionalitäten integrieren kann und über standardisierte Schnittstellen zur Integration technischer Komponenten, Sensorik und „Smart Objects“ verfügt. Die Middleware sollte dabei die Standards für Gateways in höheren Protokollschichten abbilden (wie z. B. die Schaffung von Schnittstellen). Die eigentliche Autonomie ist oberhalb der Middleware zu verorten – Modularität und Skalierbarkeit sind ihre wesentlichen Erfolgsfaktoren, ebenso wie die Anwendbarkeit in verschiedenen Domänen.

Angewandt auf smarte Systeme ergibt sich folgender, differenzierter Aufbau:

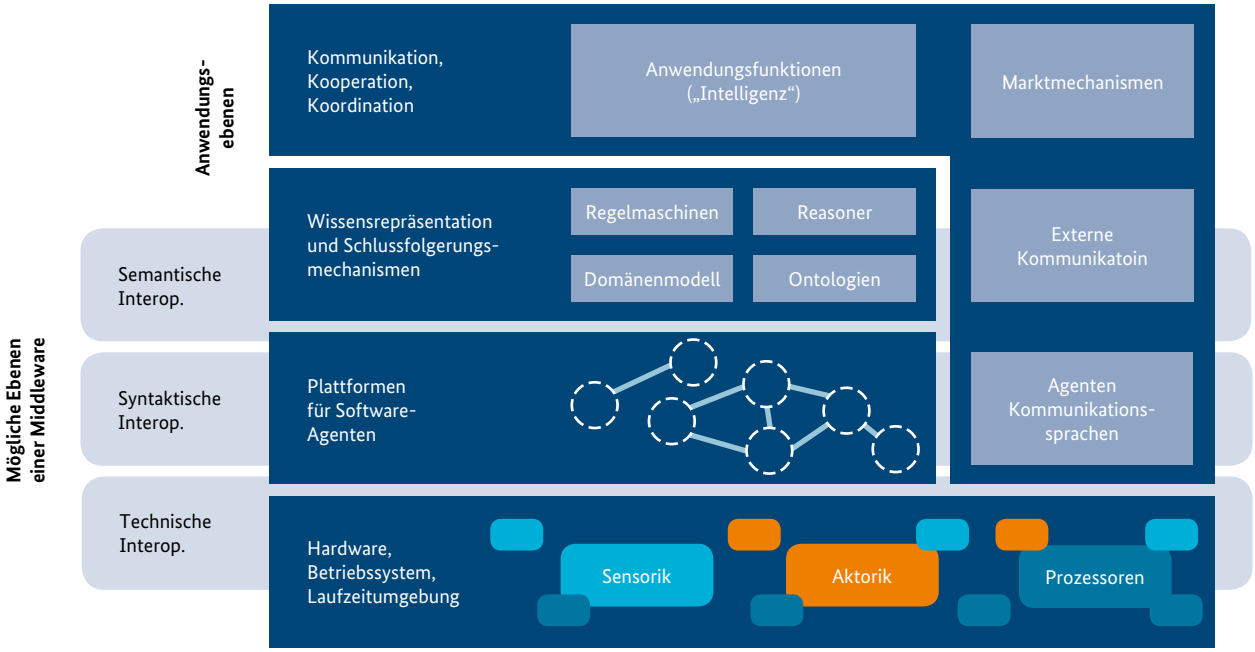


Abbildung 4

Quelle: Daniela Nicklas, OFFIS

Für das Technologiefeld „autonome Systeme“ ist derzeit kein industrieller Markttreiber und zukünftiger Marktführer absehbar (im Gegensatz zu dem diskutierten „App-Modell“ und der Marktführerschaft von Apple in diesem Bereich). Innovative Systeme werden mittelfristig weiterhin Einzellösungen sein. Aus diesem Grund wurde ein Open-Source-Ansatz in die Diskussion gebracht, der eine vereinheitlichte Middleware zur Nutzung von den verschiedensten Systempartnern (mit den oben beschriebenen Basisfunktionalitäten) anbietet. Um diesen Ansatz zu realisieren, wird eine intensive Unterstützung durch „die“ Industrie eingefordert. Wie die tatsächliche Umsetzung eines solchen Open- Source-Ansatzes aussehen könnte und wer hier zum Treiber werden kann, ist einer der offenen Diskussionspunkte. Für den innovativen Mittelstand sollten sich aus den zu erwartenden positiven Marktentwicklungen für autonome Systeme und intelligente Produktionsumgebungen gute Chancen für erfolgreiche Geschäftsmodelle ergeben.

Ein weitreichender Gedanke thematisiert die Strategie der Einrichtung einer grundlegenden Plattform: „die“ Industrie ermöglicht als Gemeinschaftsaktion den Zugriff auf einen interoperablen Standard, der Open-Source-Applikationen der unterschiedlichsten Akteure ermöglicht.

Als Referenzen wurden verschiedene Open-Source-Projekte erwähnt (ROS, ROCK, OROCOS, BRICS, ...), deren Übertragbarkeit noch geprüft werden muss. Auf europäischer Ebene wurden Aktivitäten der European Robotics Technology Platform (EUROP – www.robotics-platform.eu/cms/index.php) bzw. das European Robotic Research Network (EURON – www.euron.org/) benannt. Ebenso benannt wurde das Modell der Open Source Robotik Foundation[3]. Auch hier steht eine Validierung noch aus.

[3] www.osrfoundation.org

Die Beschaffenheit einer „Middleware“ muss sie unabhängig für den Einsatz in verschiedensten Anwendungsszenarien machen – sie muss generell einsetzbar sein. Interoperabilität ist der entscheidende Schlüsselfaktor. Für die semantische Interoperabilität wird dabei ein Kontext-Modell zur Kommunikation mit der Umgebung benötigt. Die modellbasierte Darstellung ermöglicht auch eine Nutzung in anderen Domänen: da autonome Systeme mit ihrer Umgebung interagieren, fallen sie in die Klasse der kontextbezogenen Systeme. Hier finden sich auch Anwendungen in vielen anderen Domänen, wie z. B. in intelligenten Wohnungen (sog. Ambient Assistant Living) oder Wartungssysteme, die Arbeiter durch angereicherte Darstellungen der Realität unterstützen (sog. Augmented Reality). Das Kontextmodell stellt dabei eine „virtual database of things“ dar, über die kontextbezogene Systeme für sie relevante Ausschnitte ihres Umgebungszustands ermitteln können.

Wesentliche Voraussetzungen für Modularisierbarkeit und Plug & Play-Fähigkeit ist die (wirtschaftlich abbildbare) mechanische Integrationsfähigkeit.

Um eine möglichst zügige Umsetzung der Einführung einer Middleware für autonome Systeme zu ermöglichen, ist die Übertragbarkeit vorhandener Lösungen zu prüfen. Es wird von den Experten übereinstimmend festgestellt, dass die wesentlichen Technologien bereits grundsätzlich entwickelt und verfügbar sind. Es gilt nun, konkrete Anwendungen oder Prototypen zu definieren und diese exemplarisch zur Umsetzung zu bringen. Die wichtigsten Gründe (nicht-technische Barrieren) für den bisher ausbleibenden Erfolg müssen gefunden werden.

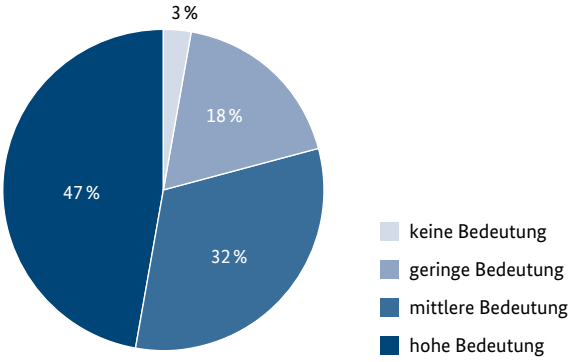
Ist die Komplexität der Modularität und der Skalierbarkeit beherrschbar, kann sich dieses Know-how zum echten Wettbewerbsvorteil für die deutsche Wirtschaft entwickeln. Der Ansatz wird insgesamt als komplex, aber notwendig und sinnvoll eingeschätzt. Um einen möglichen Erfolg abzusichern, ist eine verstärkte Mitarbeit in (nationalen und internationalen) Standardisierungsgremien von Forschung und Industrie notwendig – hier sind Finanzierungsfragen zu lösen. Ob sich durch eine erfolgreiche Marktdurchdringung ein „quasi-Standard“ etablieren lässt, ist eine der noch ungelösten Fragestellungen.

Als bereits existierende volkwirtschaftlich relevante Domänen, an denen man sich exemplarisch orientieren könnte, wurden die Logistik (supply chain management) oder die Heimvernetzung (smart home) genannt.

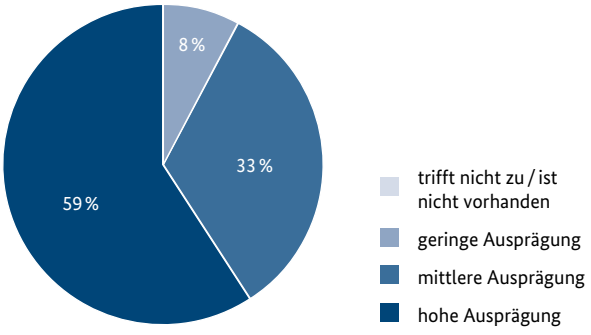
6. Aktuelle Schlaglichtbefragung zur Situation der Industriellen Servicerobotik in Deutschland

Zwischen September und Oktober 2012 wurden 79 einschlägige Initiativen aus Industrie, Forschung und Wissenschaft identifiziert und angefragt, die aktuelle Bedeutung der Industriellen Servicerobotik in Deutschland zu bewerten und ihre eigene Rolle in diesem Technologiefeld anhand von neun Fragen einzuschätzen. Geantwortet haben 40 Vertreter über alle Akteursgruppen verteilt. Die nachfolgenden Ergebnisse erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, ergeben in ihren Aussagen aber ein interessantes Schlaglicht auf die Situation im Jahr 2012.

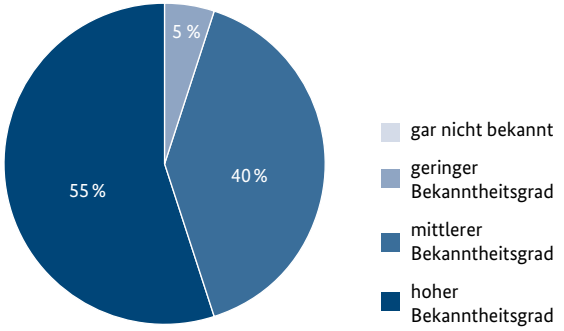
Zunächst befragt nach der Bedeutung der Industriellen Servicerobotik im eigenen Unternehmen, bzw. in der eigenen Organisation, schätzen 79 % der Antwortenden die Bedeutung mittel bis hoch ein.



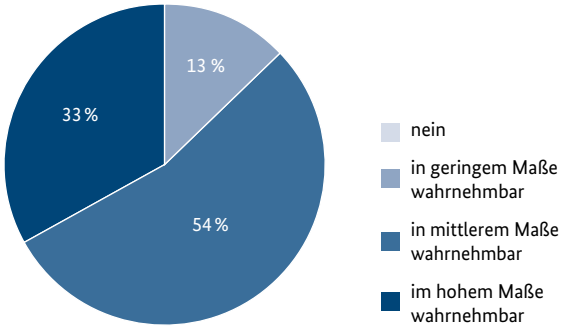
Auf die Frage „Wie beurteilen Sie die Vernetzung Ihres Unternehmens / Ihrer Organisation in die technisch-wissenschaftliche Fach-Community?“ fühlen sich 59 % im hohen Maße in den Fachdiskurs eingebunden. Dies kann als Beleg für einen hohen Grad der Interaktion und des Fachaustauschs der Experten in Deutschland interpretiert werden.



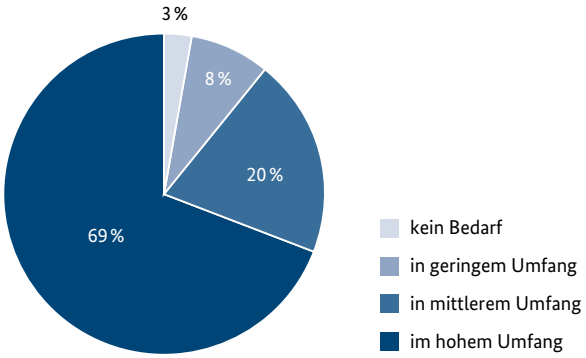
Befragt nach dem überregionalen Bekanntheitsgrad des Unternehmens / der Organisation bewerten nur 5 % die eigene Wahrnehmung in der Fach-Community als gering. Auch dies ein Beleg für eine offensichtlich gut funktionierende Diskussionskultur.



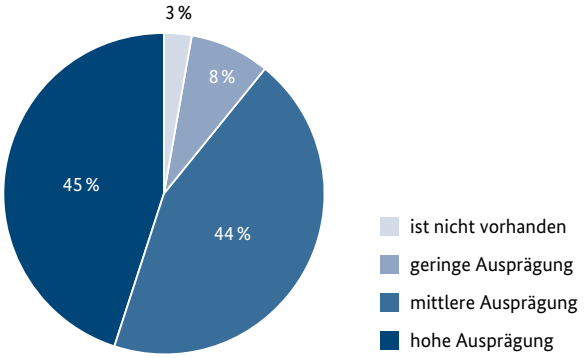
Auch die Frage „Sind die Forschungs- und / oder Entwicklungsleistungen Ihres Unternehmens / Ihrer Organisation wahrnehmbar für die Öffentlichkeit?“ wurde nur von 13 % der Antwortenden negativ bewertet.



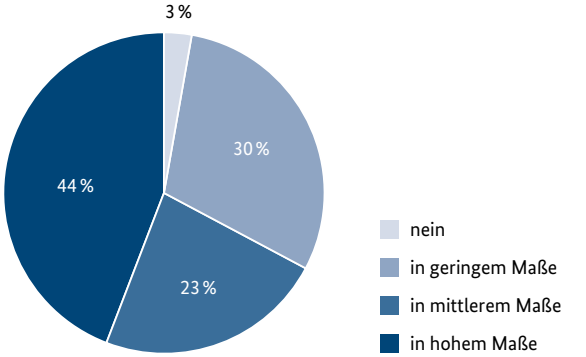
Befragt nach dem Umfang des wissenschaftlichen Entwicklungs- und Innovationsbedarf ergibt sich ein ebenfalls sehr eindeutiges Bild. Immerhin 36 der Institutionen sehen hier einen hohen bis mittleren Bedarf. Dies kann als Indiz gewertet werden, dass wesentliche Entwicklungsarbeiten bis zur Marktreife des Technologiefeldes noch ausstehen und zukünftig realisiert werden müssen.



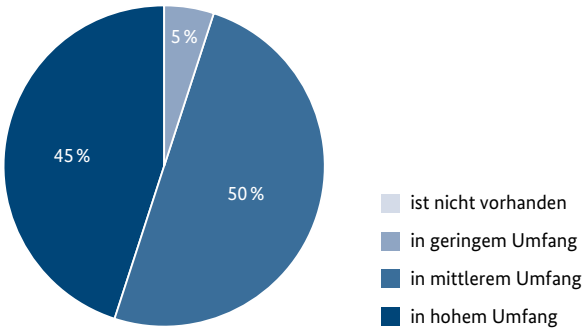
Obwohl die Anwendungs- und Marktnähe der eigenen Lösungen von immerhin 45 % der Antwortenden mit hoch bewertet wird, ist die überwiegende Zahl der Unternehmen und Institutionen der Meinung, dass bis zur Marktreife noch erhebliche Anstrengungen nötig sind.



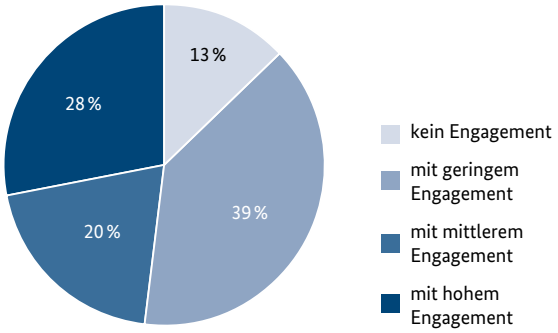
Die Fach-Community wurde auch befragt nach den Integrationsoptionen für Komponentenhersteller, die die Lösungen enthalten. Diese wurden von 18 Antwortenden als hoch eingeschätzt, 13 der Befragten sehen hier nur geringe oder keine Optionen.



Eine weitere Frage adressierte den Grad von Modularität der bereits erreichten Lösungen / Produkte. Dieser wurde mit erstaunlichen 95 % im mittleren oder hohen Umfang angesiedelt.



Die letzte Frage betraf das eigene Engagement der Mitarbeit in Standardisierungsgremien. Obwohl fast 50 % der Antwortenden ihr Engagement mit mittel bis hoch bewerten, kann in diesem Feld noch eine Intensivierung stattfinden.



7. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Angesichts des erreichten Entwicklungsstandes und der möglichen Chancen für den sinnvollen und wirtschaftlichen Einsatz der Servicerobotik zunächst im industriellen Umfeld, ist ein wachsender Bedarf an zielgerichteter und ergebnisorientierter Forschung und Entwicklung festzustellen. Die jüngsten Arbeiten und Ergebnisse durchgeführter Vorhaben im Programm AUTONOMIK des BMWi und die vom BMBF beauftragten Studien (EFIROB Fraunhofer IPA) zeigen dies deutlich. Diskussionen in Fachforen (z. B. HMI 2012, Workshop und Podiumsdiskussion zu Industrieller Servicerobotik 18.10.2012) haben zudem bestimmte Trends erkennen lassen, die frühere Annahmen zur möglichen Entwicklung der Servicerobotik in den nächsten Jahren zumindest für den industriellen Bereich zum Teil bestätigten, vor allem aber deutlicher akzentuierten. Des Weiteren wurden die Umsetzungsbarrieren deutlich, die aus Sicht der beteiligten Player von keinem allein überwunden werden können.

Beispiele sind:

- Die großen Roboterhersteller adressieren als Kunden im Wesentlichen die Industrie der Massenherstellung von Produkten (Hauptanwender: Automobilindustrie).

- Potenzielle Anwender haben die sich bietenden Möglichkeiten noch nicht in vollem Umfang erkannt. Die Kommunikation darüber zwischen Hersteller und potenziellen Anwendern ist verbesserungswürdig. Die Skepsis gegenüber neuen Ansätzen (Drahtlostechnik in der industriellen Fertigung, u.a.) baut sich erst langsam ab.

- Die Produktreife und Robustheit bleiben i.d.R. bislang hinter den Anforderungen potenzieller Anwender zurück. Hierdurch leidet das Image der Servicerobotik.

- Die Zusammenarbeit mit potenziellen, kleinen und mittelständischen Anwendern wird von Herstellern meist als zu aufwendig und zu technologielastig angesehen, schließlich möchte man als Anbieter leicht multiplizierbare Produkte herstellen.

- Die interdisziplinäre Verbindung unterschiedlicher Technologiebereiche wie z. B. Software- Engineering, Embedded Systems und Kognition findet zu schleppend statt. In der Folge werden nach wie vor Lösungen, wie z. B. Umfelderkennung, Spracherkennung, Bin-Picking-Algorithmen, usw. unabgestimmt und oftmals doppelt entwickelt.

- Die meisten Entwicklungen sind nach wie vor Spezialentwicklungen. Dort gewonnene technische Lösungen lassen sich nur schwer auf andere Entwicklungen übertragen. Es fehlt an Lösungen, die leicht an die Anforderungen von Kunden angepasst werden können, wie z. B.: mobile Plattformen, leicht integrierbare Komponenten mit häufig benötigten Funktionalitäten, flexible Schnittstellen, eine breit einsetzbare Middleware, usw.

- Flankierende Geschäftsmodelle (Leasing, Wartung, Service zur Problemlösung in der Anwendung, Engineering etc.) fehlen oder sind zu wenig verbreitet, da es bislang kaum wirtschaftlich einsetzbare Servicerobotiksysteme gibt.

- Es fehlt eine leistungsfähige Zulieferindustrie auf der Basis standardisierungsfähiger Technik-Komponenten und angepasster Entwicklungsdienstleistungen (PnP).

- Kommunikation, Kooperation, unternehmens- und spartenübergreifende Zusammenarbeit sind noch nicht ausreichend entwickelt.

- Risikoscheue zeigt sich in der mangelnden Investitionsbereitschaft in neue, noch nicht ausreichend erprobte Technologien („negativer Innovationsdruck“).

Andererseits ist der Optimismus hinsichtlich sich ergebender Marktchancen gewachsen. Die aktuellen Entwicklungen in der Servicerobotik in Deutschland zielen klar auf eine zunächst industrielle Nutzung. Hier kann ein hoher wirtschaftlicher Nutzen u.a. für die Bereiche KMU und Handwerk entstehen, in denen eine kleinteilige und individuelle Herstellung von qualitativ hochwertigen Produkten stattfindet. Um dies zu erreichen, müssten die o.g. Eigenschaften ganz

Care-O-bot

oder teilweise für eine Vielzahl entsprechender industrieller Serviceroboter zur Verfügung stehen. Hierdurch könnte im weiteren Verlauf die Erschließung zahlreicher weiterer Anwendungsfelder wesentlich erleichtert werden, da lediglich die Adaption an entsprechende Aufgaben gelöst werden muss und nicht eine, je nach Anwendung spezifische Neuentwicklung erforderlich ist.

Ein sich abzeichnender Lösungsweg setzt einerseits auf die Nutzung von leicht und weitgehend universell nutzbaren Funktionen, die derart „ausgereift" sind, dass sie von vielen Servicerobotik schaffenden Unternehmen genutzt werden können. Hervorgehoben wurden vor allem die Funktionalitäten Umfelderfassung und Interpretation, Navigation und Missionsplanung, Mobilität, leichte Instruierbarkeit sowie kognitive Fähigkeiten. Damit diese Kernfähigkeiten von industriellen Servicerobotern nicht für jede Anwendung neu entwickelt werden müssen, sind zunächst Technologien zu entwickeln, die eine entsprechend einfache Übertragbarkeit dieser Funktionalitäten auf unterschiedliche Anwendungsfälle ermöglichen. Die vielgerühmte „Plug & Play"-Fähigkeit wird jedoch nicht ohne Weiteres erreichbar sein, wenn es nicht gelingt, einige der hierfür nötigen o.g. Voraussetzungen zu erfüllen.

Sicherheit

Von den in die Diskussion eingebundenen Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft wird vielfach das Thema Sicherheit genannt. Hier müssen Methoden weiterentwickelt werden, die sowohl robotische Komponenten als auch die Anwendung an sich unter dem Blickwinkel eines sicheren Betriebs beleuchten. Entsprechende Aspekte müssen bereits von Beginn an bei der Entwicklung von Hard- und Software berücksichtigt werden. Nur so kann es gelingen, Einschränkungen beim sicheren Betrieb und den daraus entstehen Haftungsfragen aus dem Weg zu gehen. Leider ist der Aufwand für solche Entwicklungen und die nachfolgenden Zertifizierungen, ggf. auch Zulassungen bei den Berufsgenossenschaften usw. so hoch, dass zunächst nur große Unternehmen entsprechende Lösungen bieten oder versprechen. Für die Entwicklung eines echten Co-Workers ist die Lösung entsprechender Sicherheitsanforderungen essentiell. Ein Weg könnte sein, dass die an der Entwicklung der Servicerobotik beteiligten Unternehmen und Forschungseinrichtungen die wesentlichen Anforderungen in Richtung intrinsischer Sicherheit erarbeiten und Lösungswege zeigen, wie diese in der realen Entwicklung verwirklicht werden können. Um Erfahrungen zu sammeln und auch um nicht zu hohe Hürden bei der Einfüh-

rung von Servicerobotik in der Industrie aufzubauen, wurde der Vorschlag geäußert, zunächst das von einem Serviceroboter ausgehende Gefährdungspotenzial zu erfassen. Auch hierzu müssen geeignete Kriterien geschaffen werden. Für die Servicerobotik bedeutet dies, dass sich erste servicerobotische Anwendungen im industriellen Umfeld ggf. auch unter den heute bestehenden Randbedingungen (Restriktionen) einführen lassen, wenn das Gefährdungspotenzial entsprechend niedrig ist. So könnte ab einer bestimmten Zugangsebene eine vorläufige Freigabe von Anwendungen erfolgen, ohne dass notwendigerweise das Betriebssystem, die Anwendersoftware (Applikation) und die entsprechenden Hardwarekomponenten unter sicherheitstechnischen Kriterien freigegeben sein müssten.

Das Thema Sicherheit ist evolutionär zu behandeln und folgt der laufenden Entwicklung der Servicerobotik. Das heisst aber auch, dass die Sicherheit immer hinter dem allgemeinen Entwicklungsstand der Servicerobotik zurück liegt. Die Anpassung der Standards an die jeweiligen Einsatzfelder folgt in der Regel dem sich abzeichnenden Gefährdungspotenzial. Die Erfahrung zeigt, dass sich Entwicklungen auch ohne perfekte Sicherheitsstandards etablieren (Bsp. Onlinebanking). Die Feststellung, dass es nie eine 100 %-ige Sicherheit, bzw. einen sicheren Betrieb geben wird, bedeutet zunächst, dass der Mensch nach wie vor eine „letzte Instanz“ einnehmen muss, um den „roten Knopf“ drücken zu können.

Für die industrielle Servicerobotik muss das Thema Sicherheit vor allem unter dem Aspekt eines sinnvollen Weges zwischen Aufwand, Wirtschaftlichkeit und Gefährdungspotenzial gesucht werden. Dies kann nur zum Erfolg führen, wenn die betreffenden Player in geeigneter Weise eng zusammenarbeiten.

Wirtschaftliche Umsetzung

Für die Entwicklung einer wirtschaftlichen industriellen Servicerobotik stehen einerseits die Methoden zur Entwicklung und Herstellung von Servicerobotern und andererseits bestimmte Eigenschaften, die heute meist nur mit hohem Aufwand und nicht befriedigendem Ergebnis erreicht werden, im Vordergrund.

Leichte, symbolische „Programmierung“ oder auch das einfache Anlernen eines Serviceroboters von Werkern ohne Programmierkenntnisse muss erreicht werden. Neben dem dazu erforderlichen „intuitiven“ Mensch-Maschine-Interface ist auch die Erfassung und Interpretation der Umwelt erforderlich, damit der Roboter weiss, wo und wie er sich bewegen kann. Um die Herstellungs-, Wartungs- und Betriebskosten von industriellen Servicerobotern zu reduzieren, ist die Wiederverwendbarkeit von Teilen unverzichtbar. Hier sind sowohl Hardware, z. B. mobile und preiswerte Plattformen, auf denen ein Hersteller weitgehend barrierefrei seine Applikation aufbauen kann (austauschbare Sensorsysteme, Greifer usw.), als auch Software resp. Sofwaremodule / -bibliotheken gemeint. Experten nennen hier vor allem die sog. Middleware, die eine einfache Verbindung zwischen dem Betriebssystem und der Anwendungssoftware darstellt. Es ist davon auszugehen, dass sich die Servicerobotik schneller entwickeln würde, wenn es gelänge, die Komplexität der Entwicklung für spezielle Anwendungen dadurch zu reduzieren, dass die wirklich komplexen Funktionen in die jeweiligen Komponenten integriert werden. Auch hierzu ist es erforderlich, sich auf Standards zu einigen.

Letztlich muss für branchenübergreifend einsetzbare Entwicklungen der Servicerobotik die gesamte Wertschöpfungskette abgebildet werden können. Dies ist aktuell nicht der Fall. Eine Servicerobotik-Zulieferindustrie gibt es noch nicht. Andererseits haben eine Reihe von Unternehmen ihre Geschäftsfelder ausgeweitet, um Komponenten und Systeme aus dem Industrierobotik-Bereich für die Servicerobotik liefern zu können. Diesen Trend gilt es zu verstärken, indem Anwendungsfälle außerhalb des industriellen Einsatzes gefunden werden (wie z. B. Wachroboter, Fieldroboter, Floorcleaner, autonome Transportplatformen usw.), die, wenig komplex , aber wirtschaftlich umgesetzt werden können.

Standards und Interoperabilität

Standards können zumindest teilweise die Interoperabilität zwischen funktionellen Komponenten herstellen, die zum Aufbau servicerobotischer Systeme erforderlich sind. Vielfach wird darunter auch die Plug

& Play-Fähigkeit von Hard- und Software verstanden, ähnlich wie es bei der PC-Systeme heute üblich ist. Da dies aus Gründen der zu hohen Komplexität und der nicht ausreichenden Zusammenarbeit zwischen den Playern für die Servicerobotik bisher nicht erreicht wurde, gab es Ansätze, einen Universalroboter zu bauen, der fast alles können soll (Humanoid, Fa. Willowgarage). Dies wird jedoch als abwegig angesehen. Der Trend geht in die entgegengesetzte Richtung, in der verschiedene Komponenten und Werkzeuge die einfache und entsprechend den Anforderungen des Anwenders flexible Entwicklung von Servicerobotern ermöglichen. Hierzu wurde in der Vergangenheit auch versucht, Softwareplattformen zu entwickeln und zu etablieren (KUKA, Willowgarage, Open Source Plattform Ross Enterprise Solutions). Allerdings bislang ohne den erhofften Erfolg. Gründe hierfür sind ungeklärte Sicherheitsfragen, Pflege der Software, Rechte und Garantien, Verwaltung von Bibliotheken u.v.m.

7 .1 Fazit

Das Thema „Industrielle Servicerobotik“ hat eine wesentliche, ja paradigmatische Bedeutung für „Industrie 4.0“ und die Weiterentwicklung autonomer Systeme.

Deutschland verfügt im Maschinen- und Anlagenbau, in der Automations- und Produktionstechnik über ein hervorragendes, hoch kompetentes Netzwerk. Darauf aufbauend sollte darüber nachgedacht werden, wie dieses Know-how und bereits erarbeitete Erkenntnisse und Produkte – unter anderem im Technologieprogramm AUTONOMIK – zur Schaffung einer technologisch orientierten Zulieferindustrie für die Servicerobotik weiterentwickelt und ausgebaut werden kann. Technische Entwicklungen und Kenntnisse sind am Standort Deutschland reichlich vorhanden, um mittelfristig erste Produkte der Servicerobotik marktreif machen zu können. Dies kann durchaus bereits bis 2015 geschehen. Unter der Voraussetzung, dass nötige Standardisierungsprozesse voran gebracht werden, ist bis 2020 mit dem Entstehen einer durchaus spezifischen Zulieferindustrie zu rechnen. Im Erfolgsfall kann sich die Servicerobotik insbesondere in den oben diskutierten Anwendungsszenarien für Co-Worker und autonom agierende Serviceroboter zu einer eigenständigen Industrie entwickeln. Dies wird jedoch voraussichtlich nicht vor 2025 geschehen. Bis dahin ist auch zu erwarten, dass eine ganze Reihe neuer Anwendungsfelder für robotische Systeme erschlossen werden können. Diese werden sich auf die kleine Serienfertigung bis hinunter zur Herstellung von Einzelstücken beschränken. Gelingt dies, wird auch die wirtschaftliche Relevanz der Servicerobotik insgesamt weiter zunehmen.

Aus der Diskussion mit den in der Robotik tätigen Akteuren aus Forschung und Herstellerindustrie wird ersichtlich, dass die wesentlichen Impulse zur Entwicklung und zum Einsatz der Servicerobotik nicht von Anwendungen im privaten Bereich, sondern wesentlich von industriell und wirtschaftlich sinnvollen Applikationen ausgehen und erst dann allmählich in den privaten Sektor diffundieren.

Um Lösungen für eine Vielzahl von Anwendungen für kommerzielle und private Dienstleistung anbieten zu können, müssen Themen wie die Mensch-Roboter-Interaktion, aber auch das automatische („intelligente“) Erfassen und Ausführen bestimmter Aufgabenstellungen intensiv vorangetrieben werden. Hier steht eindeutig die Assistenzfunktion im Vordergrund. So wird vermutet, dass es bis 2025 möglich sein wird, schwierige und komplexe Aufgaben im Arbeitsumfeld zusammen mit einem robotischen Co-Worker zu bewältigen. Aber auch autonom agierende Serviceroboter werden selbstständig individuelle und komplexe Arbeiten im Bereich Überwachung, Exploration, Inspektion und Wartung verrichten können. Solche Möglichkeiten sind gerade für kleine und mittlere Unternehmen auch im Handwerk von hohem wirtschaftlichem Interesse.

7.2 Empfehlungen

- Mit der zunehmenden Entstehung von Servicerobotik-Systemen ist die Sensibilität der Forscher, Entwickler, Hersteller und Nutzer dieser Systeme hinsichtlich ethischer, rechtlicher, gesellschaftlicher und sozialer Fragestellungen zu schärfen.

- Vorrangiges Ziel ist die Etablierung einer technisch-wissenschaftlich befähigten Zulieferindustrie. Um ein international marktfähiges Wachstum einer

deutschen Servicerobotikindustrie zu ermöglichen, muss, ähnlich wie in anderen Branchen bereits vorhanden, eine eng vernetzte Zulieferindustrie in der Lage sein, wichtige, zur Entwicklung und zum Bau von Servicerobotern nötige Komponenten in unterschiedlicher Komplexität herzustellen. Dabei muss auf Standard- und Sicherheitsaspekte ebenso eingegangen werden wie auf die leichte Kombinierbarkeit notwendiger Servicerobotik-Komponenten (Plug & Play Fähigkeit).

→ Die Schärfung des öffentlichen Bewusstseins, dass die Servicerobotik eine Chance für Wiedererlangung einer größeren Unabhängigkeit der industriellen Fertigung von ausländischen Importen ermöglichen kann, dass die Wertschöpfung im Großen wie im Kleinen wieder in Deutschland stattfindet, dass durch den Einsatz von Robotik und Servicerobotik in ihrer Gesamtheit die individuelle Situation der Arbeitswelt eher günstig beeinflusst wird als umgekehrt. Die Servicerobotik muss „hoffähig" gemacht werden.

Die Begleitfoschung des Technologieprogramms AUTONOMIK empfiehlt die Entwicklung eines Masterplanes „Servicerobotik", mit dem folgende Ziele erreicht werden sollen:

→ Entwicklung von attraktiven Szenarien und überzeugenden Darstellungen wirtschaftlicher Anwendungen zur Überwindung von Motivationsproblemen bei potenziellen Anwendern (private Endkunden und insbesondere auch kleine und mittelständische Unternehmen).

→ Bewusstseinsbildung über Einsatz und Nutzen der Servicerobotik bei den Entscheidern auf der Seite potenzieller Kunden.

→ Bewusstseinsbildung in der Öffentlichkeit über die Vorteile einer breiten Anwendung von Servicerobotik, die bereits in der Schulbildung beginnt.

→ Etablierung einer vernetzten, technisch-wissenschaftlich befähigten Zulieferindustrie.

→ Schließung der bestehenden Lücke zwischen Industrie und Forschung im Verständnis der Servicerobotik hinsichtlich wirtschaftlich nutzbarer Anwendungen sowie Intensivierung der Forschung zu wichtigen Themengebieten der Servicerobotik, wie Intelligenz, Lernfähigkeit und Autonomie.

→ Die Etablierung eines permanenten Prozesses zur Behandlung offener ethischer, rechtlicher, gesellschaftlicher und sozialer Fragen.

→ Die Etablierung von verlässlichen Sicherheitsstandards beim Einsatz der Servicerobotik im privaten und häuslichen Umfeld, sowie bei allen Anwendungen, bei denen Menschen gefährdet oder verletzt werden können.

→ Förderung des Einsatzes der Servicerobotik in Anwendungsfeldern, die den Nutzen besonders deutlich werden lassen, wie z. B. als Co-Worker im Handwerk.

Die Umsetzung der vorgenannten Ziele im Rahmen eines Masterplans kann dazu beitragen, die tatsächlich gute Ausgangsbasis für die deutsche Industrie im Bereich der Servicerobotik für eine nachhaltige Marktentwicklung nutzbar zu machen. Die Schaffung einer dazu erforderlichen eng vernetzten Zulieferindustrie und eine Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen der industriellen Entwicklung und der Forschung stehen dabei im Vordergrund. Hierdurch kann in Deutschland die Erhöhung der Wertschöpfung im Großen wie im Kleinen gestärkt werden, der Einsatz von Robotik und Servicerobotik in seiner Gesamtheit die individuelle Situation in der Arbeitswelt günstig beeinflusst und nicht zuletzt generell eine international größere Unabhängigkeit erreicht werden. Die Servicerobotik muss in Deutschland „hoffähig" gemacht werden.

Mit den vorgeschlagenen Maßnahmen soll auch eine Transformierbarkeit von Entwicklungen und Erfahrungen im Kontext des komplexen Systems Serviceroboter (vernetzte Sensorik, Autonomie und Kognition, ethisch-rechtliche Herausforderungen) auf zahlreiche andere Anwendungsfelder erreicht werden.

www.bmwi.de