

Von der Maschine zum denkenden Gehilfen

Von Elsbeth Heinzlmann*



(l.) Am Institut für Robotik und Intelligente Systeme IRIS der ETH Zürich entstehen drahtlose, magnetisch gesteuerte Mikroroboter, die heikle Mikrooperationen durchführen oder Medikamente an schwer erreichbare Ziele, wie ins Gehirn oder Auge transportieren könnten. Im Bild: Mikroroboter auf der Spitze einer Injektionsspritze für den Einsatz im Auge. (r.) Ein autonomer IRIS-Mikroroboter (oben rechts auf Fingerkuppe), der ohne physische Verbindung zur Aussenwelt agieren kann, und (umstehend) in seine Einzelteile zerlegt.

Im europäischen Robotikforschungsnetz EURON engagieren sich Wissenschaftler, um Kompetenzen in Kooperationen zu bündeln und die Forschung auf produktive Ziele zu lenken. Europa ist in der Industrierobotik führend, doch verlagern sich die Bedürfnisse zunehmend auf intelligente Roboter, die sicher mit dem Menschen kooperieren. Ein Blick in Schweizer Robotiklabors zeigt aktuelle Trends.

An die 850 000 Roboter schufteten im Jahr 2004 rund um den Erdball. Sie lackierten Autos, stapelten Container, schweissten, bohrten und klebten, was das Zeug hält. Doch raffinierte Hightech holt die maschinellen Diener aus ihren Sicherheitszonen, stellt sie als «intelligente» Helfer an die Seite des Menschen. Erste dieser autonomen Gesellen saugen nicht nur Staub und mähen unseren Rasen; sie operieren auch einen Leistenbruch ohne eine einzige Naht – für den Chirurgen ein Ding der Unmöglichkeit.

«Köpfchen» erwünscht

«Immer stärker gefragt sind «intelligente» Serviceroboter, modulare und robuste Robotersysteme, die flexibel zu handhaben sind und mit dem Menschen sicher zusammenarbeiten», erklärt Henrik I. Christensen, Koordinator des europäischen Netzwerks für Robotikforschung EURON. «Europa ist weltweit Nummer 1 in der Industrierobotik. Um aber weiterhin tonangebend zu sein, müssen wir frühzeitig Themen mit Entwicklungspotenzial anpacken und junge Menschen in den für Robotik massgebenden Disziplinen auf Top-Niveau ausbilden.» EURON engagiert sich in «Beyond Robotics» im Rahmen des mit 37 Mio. Euro dotierten EU-Programms «Advanced Robotics», das drei Schwerpunkte verfolgt:

NEUROBOTICS

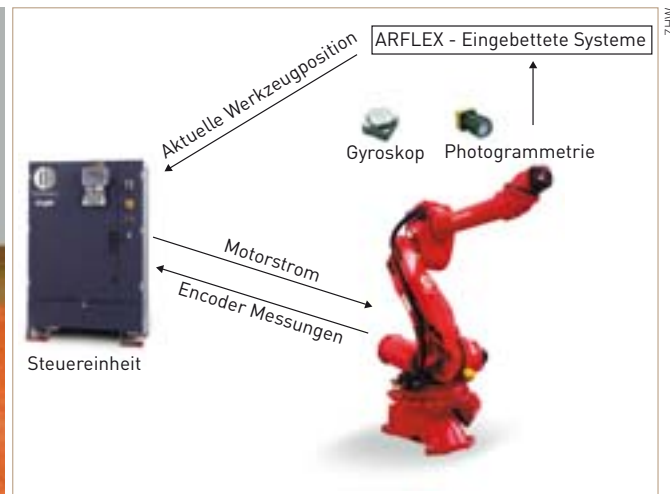
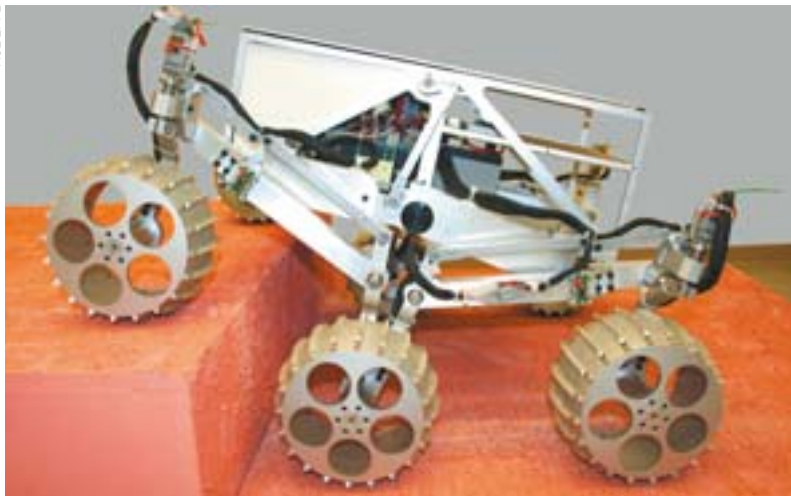
NEUROBOTICS peilt die Verschmelzung von Neurowissenschaften und Robotik an, um menschenähnliche Eigenschaften zu er-

zielen. Die direkte Verknüpfung von Robotikkomponenten mit dem menschlichen Körper oder dem Nervensystem führt zu «Hybrid Bionic Systems», beispielsweise zu intelligenten Armprothesen.

COGNIRON

Den kognitiven Roboter nehmen die Forscher in COGNIRON unter die Lupe. Sie möchten ihn mit Wahrnehmung, Urteilsvermögen und Lernfähigkeit ausrüsten, damit er im Umfeld des Menschen laufend Wissen aufnimmt und neue Talente entwickelt. Dazu soll er sich nicht nur bewegen und handeln, sondern dank kognitiven Fähigkeiten seine Aufmerksamkeit auf Objekte lenken, die räumliche und dynamische Struktur seiner Umwelt verstehen und damit wechselwirken. Erwünscht ist zudem, dass er soziales Verhalten an den Tag legt und auf geeignetem Abstraktionsniveau kommuniziert. Federführend in diesem Projekt ist die ETH Zürich unter der Leitung von Professor Roland Sieg-

(l.) Der CRAB-Versuchsaufbau, das im Autonomous Systems Lab der EPFL entwickelte Fortbewegungsmittel für autonome Fahrzeuge in schwierigem Gelände. Das Design der mechanischen Struktur stammt von BlueBotics, einem Spin-off, das vom ASL realisierte Technologien der Mobilrobotik vermarktet. (r.) An adaptiven Robotern für flexible Produktionssysteme arbeitet das Institut für Mechatronische Systeme (ims) der Zürcher Hochschule Winterthur. Die damit möglichen begrenzten Stückzahlen und die grosse Produktvariabilität machen ARFLEX besonders für KMU attraktiv.



wart, der in EURON die Aus- und Weiterbildung wahrnimmt.

I-SWARM

An der EPF Lausanne partizipiert die Crew von Professor Reymond Clavel, Spiritus rector der Parallelkinematik, in I-SWARM. Es geht darum, Schwärme Tausender kleiner Roboter mit Sensoren, Manipulatoren und Rechenleistung zu versehen. Sie sollen im Sinn von Selbstorganisation gemeinsam komplexe Aufgaben erfüllen, denen einzelne Roboter nicht gewachsen sind. Die bloss 1 x 1 x 2 mm² messenden Gesellen agieren in einer Welt der Winzlinge, wo beispielsweise die Gravitation nebensächlich ist, dafür die elektrostatischen und magnetischen Kräfte überhand nehmen.

Von Nanoroboterchen zum Mars-Mobil

Roboter mit einer gewissen «Intelligenz» könnten Arbeiten übernehmen, die für den Menschen zu gefährlich oder ausser Reichweite sind. Das kann auf einem fernen Planeten unseres Sonnensystems sein, wo sie mit Gesteinsproben neues Wissen über menschliches Leben erschliessen, oder in Medizin und Biologie mit der Untersuchung der Proteinfaltung oder biologischer Zellstrukturen. An solch mikrobiotischen Systemen arbeitet Professor Bradley Nelson am Institute of Ro-

botics and Intelligent Systems (IRIS) der ETH Zürich, um das Verhalten von Organismen zu erforschen (vgl. SWISS ENGINEERING 6/06). In der Mikrorobotik geht es einerseits darum, Mikrometergrosse Objekte anzufertigen und zu handhaben sowie die physikalischen Kräfte zu verstehen, die in diesem Bereich die Interaktionen bestimmen. Andererseits müssen effiziente, robuste Mess- und Antriebsstrategien entwickelt werden. «Mikrorobotik heisst Integration von Mess- und Antriebsstrategien mit einem kognitiven Aspekt, der intelligente und komplexe Interaktionen mit der Mikrowelt erlaubt», so der 2005 vom «Scientific American» geehrte Dozent. Derzeit arbeitet eines seiner Teams am Bau und der Steuerung von submikrometergrossen Robotern, die im menschlichen Auge Netzhautooperationen unterstützen könnten. Ein weiteres integriert die dafür nötigen Technologien von MEMS und Mikromontage.

Eine Schuhnummer grösser ist der 200 kg schwere Roboter, den die ESA, bestückt mit wissenschaftlichen Instrumenten im Sommer 2011 auf den Mars schicken will, wo er Mars Erde sammeln, verarbeiten und analysieren soll. Das dazu nötige Fahrzeug braucht im unebenen Terrain solide Aufhängemechanismen, damit es mit möglichst wenig Energie Hindernisse überwinden kann. Die Equipe

von Roland Siegwart entwickelt an der ETH Zürich das Roboterchassis CRAB. Es basiert auf zwei ausgeklügelten parallelen Drehgestellen, die als Grundprinzip auch bei Eisenbahnwagen eingesetzt werden. Die passive Radaufhängung kommt ohne Motoren aus, senkt also den Energieverbrauch, und passt sich natürlich dem Gelände an. «Die Nachfrage nach Geländerobotern nimmt rapide zu», konstatiert der Professor für autonome Systeme. «Gefragt sind flexible Roboter mit Autonomie, die sich in unstrukturiertem, gefährlichem oder verseuchtem Umfeld bewegen, das dem Menschen nicht zugänglich ist.»

Roboter für KMU

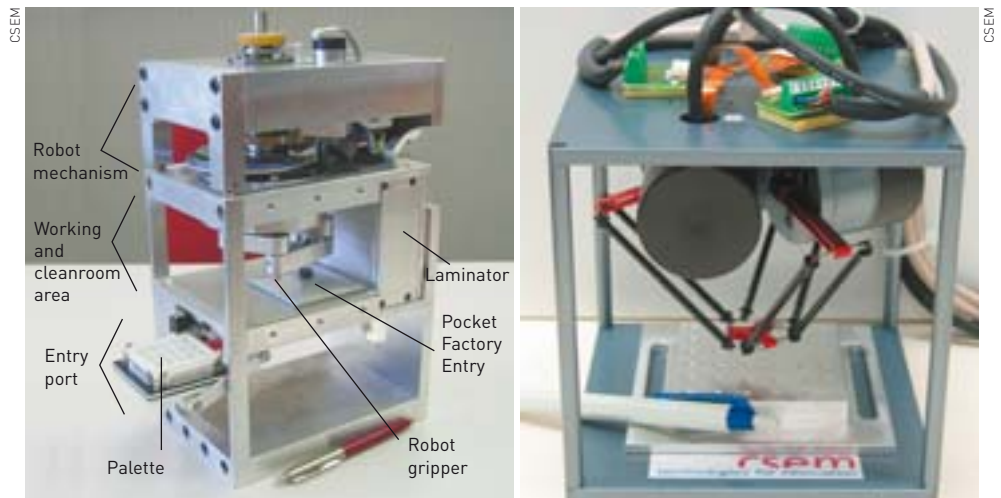
Flexibilität steht im Brennpunkt von ARFLEX (Adaptive Robots for Flexible Manufacturing Systems), welche die Fraunhofer Gesellschaft IPK Berlin, die Uni Antwerpen, Accent S. r. L Vimercate, EICAS Automazione S. p. A Turin und die COMAU Turin mit der Zürcher Hochschule Winterthur (ZHW) erstellen. Die Projektpartner wollen mit hochleistungsfähigen eingebetteten Steuersystemen höchste Adaptierbarkeit und Kostenreduktion erreichen. Dazu untersuchen sie Videosensoren, integrierte Schaltungen, visuelle Verarbeitungs-Algorithmen und Sensorfusion bis hin zu Echtzeit-Betriebssystemen und Kommunikationsnetzwerken. Die Gruppe von Pro-

fessor Wernher van de Venn arbeitet an einer Robotersteuerung, die den Regelkreis des Roboters durch direkte Messung der Endeffektor-Position schliesst. «Dank sicherer Überwachung und direkter Interaktion ist ein Einsatz auf engstem Raum bei hoher Prozessflexibilität und grösster Genauigkeit möglich», bilanziert Wernher van de Venn, Leiter des Instituts für Mechatronische Systeme an der ZHW. «Mit der neuen Steuerung können auch KMU bestehende Industrieroboter für kleine und mittlere Stückzahlen bei hoher Produktvariabilität einsetzen. Durch die direkte Messung am Tool-Center-Point ist der Roboter ohne aufwändige Neukalibrierung ortsunabhängig dort einsatzbereit, wo er gerade benötigt wird.» Das ist ein entscheidender Vorteil, gerade für KMU.

Die Fabrik im Taschenformat

Den derzeit kleinsten Hochgeschwindigkeits-Mikromontageroboter der Welt realisiert das CSEM in einer Kooperation mit der EPFL und der HTI Biel. Im Brennpunkt steht die «Pocket Factory», ein Desktop-Montagesystem mit aneinander fügbareren Reinraummodulen. Jede Microbox weist ein nutzbares Volumen von 1 dm³ auf und eine Reinraumleistung der Klasse 100. Die an der EPFL konzipierten SCARA-Roboterchen von 100 x 100 x 200 mm haben vier Freiheitsgrade. Sie öffnen die Tür zur Mini-Fabrik, nehmen zu bearbeitende Komponenten in Empfang, montieren sie und reichen sie an die nächste Box weiter. Jeder Roboter verfügt über einen Arbeitsraum von 20 mm Höhe und 130 mm Durchmesser. Gleichzeitig entsteht an der HTI Biel in Zusammenarbeit mit dem CSEM ein Mini-Delta-Roboter. Seine parallel angeordneten Achsen und Gelenke gewährleisten relativ kompakte und steife Strukturen. Die reduzierten bewegten Eigenmassen bewirken hohe Dynamik und Präzision. Mit einer Auflösung und Wiederholbarkeit unter 0,01 mm ist eine Montage im Millimeterbereich kein Problem. Dank Modularität ist die Mini-Fabrik rasch aufgestellt, massgeschneidert auf Kundenbedürfnisse. «Interesse bekundet die Uh-

(l.) Der für die «Pocket Factory» entwickelte Scara-Roboter der EPFL. (r.) Prototyp Mini-Delta-Roboter. Die Motoren sind über der Microbox platziert, die Bewegungsübertragung auf den Arm wird realisiert durch einen Antriebsriemen mit einer Reduzierung von bloss 1 : 2. Dank hohen Auflösungscodierern mit Interpolationselektronik ist eine Auflösung von 0,5 µm erreichbar.



renbranche für hoch präzise Montagearbeiten», erklärt CSEM-Mikrorobotikspezialist Alain Codourey. «Die Reinraumversion findet in der Medizintechnik Anklang, denn die Handhabung von Komponenten auf kleinstem Raum und in keimfreier Umgebung löst überall dort Probleme, wo man höchste Anforderungen an die Sterilität stellt.»

Spielerisch Innovation anregen

Ebenso wichtig wie Forschung und Entwicklung ist die Sensibilisierung junger Menschen für Robotik. Besonders Wettbewerbe erweisen sich als kollektives Verhalten nützlich, um zu besten Techniken zu gelangen und Erfahrungen auszutauschen. Ein Beispiel dafür ist die internationale Initiative «RoboCup», die rund 4000 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in etwa 40 Ländern umfasst. Sie fördert die Forschung in Künstlicher Intelligenz sowie autonomen mobilen Robotern und gibt Forschenden eine Chance, ihre Fortschritte im internationalen Vergleich zu testen. Die Fachhochschule in Yverdon (HEIG-VD) engagiert sich in RoboCup@home, einem Wettbewerb, der – mit starkem Industriebezug – Interaktionen Mensch-Maschine anpeilt. Vorgegeben ist als Szene ein Esszimmer mit Küche, in der ein Roboter einem Menschen in einer gegebenen Distanz und Geschwindigkeit nachlaufen muss. «Robo-

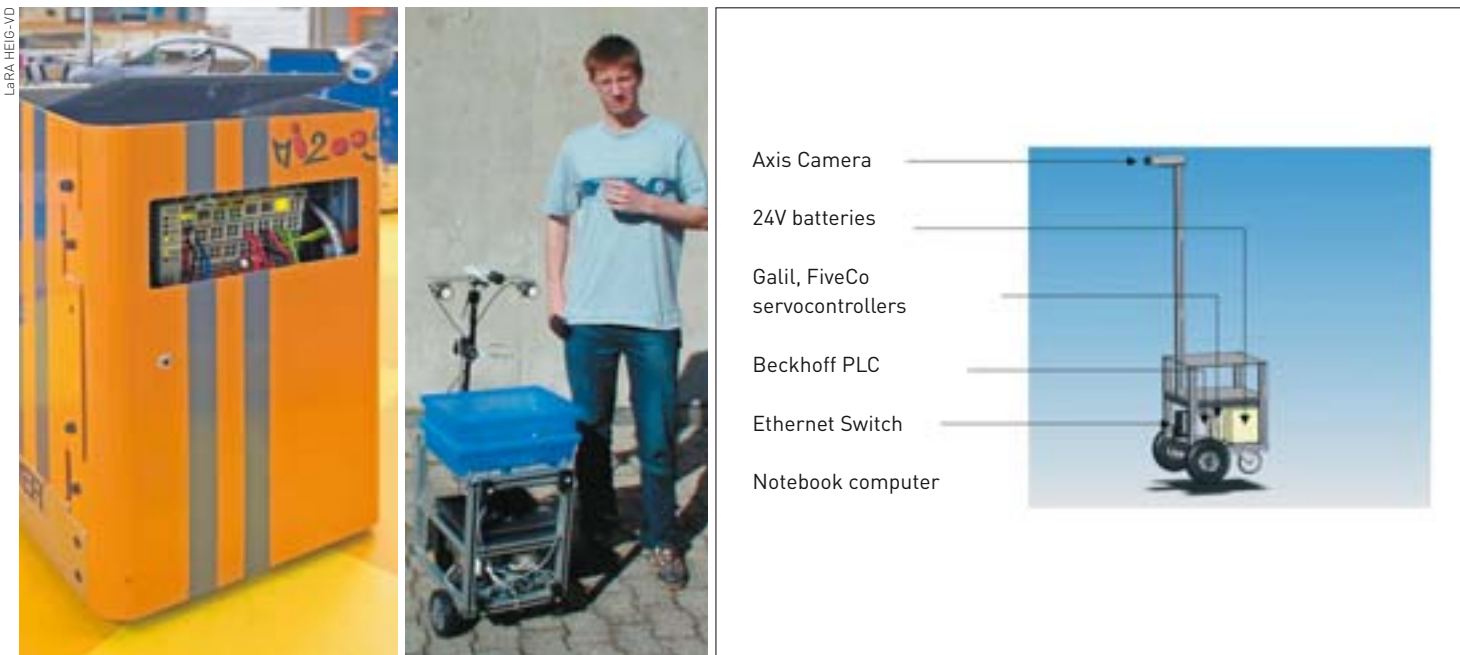
Cup@home stellt uns Forscher vor neue Herausforderungen», so Jean-Daniel Dessimoz, Professor an der HEIG-VD, Mitinitiant der Vereinigung Robot-CH. «Wie findet der Roboter den Weg zwischen Hindernissen? Wie wird die Bewegungsbahn definiert in Echtzeit durch ein bewegliches Ziel? Können wir Daten von Licht- und Distanzsensoren fusionieren oder neue 3D-Kameras benutzen, die uns direkt ein Tiefenbild liefern, statt nur Lichtintensitäten? Schliesslich, wie verhält sich der Roboter sozial korrekt, antwortet auf Fragen des Menschen, stellt sich ihm vor?»

Der Serviceroboter hat wesentlich höheren Anforderungen zu genügen, als der Industrieroboter, indem seine Umwelt weitaus weniger klar definiert ist. Er muss autonom und mobil sein, sich selbstständig in der Umwelt zurechtfinden und mit Energie versorgen, mit der Umwelt sicher in Wechselwirkung treten und von Laien benutzbar sein. Zwar liefern stets raffiniertere Steuerungen und Antriebe, Sensoren und Werkstoffe die Basis für «intelligente» Robotersysteme, doch den wirklichen Durchbruch schaffen Serviceroboter erst, wenn sie sinnvolle Aufgaben übernehmen und dem Menschen das Leben erleichtern.

*Elsbeth Heinzlmann, Journalistin Technik und Wissenschaft

INTERVIEW

Die Schweiz hat in der Robotik die Nase vorn



(l.) Mobilroboter des Laboratoire de Robotique et Automatisation (LaRA) in Yverdon bestehen weitgehend aus Hard- und Software nach besten industriellen Standards. Im Bild Beckhoff-PLC verbunden via TCP/IP mit eingebettetem Überwachungsrechner für den «Dude»-Roboter.

(m. + r.) Der vom LaRA konzipierte Roboter, RH1-Y, der am ersten Robocup@home-Wettbewerb in Bremen einen Menschen mit einer Geschwindigkeit von rund 20 cm/s und in einem Abstand von 1 m verfolgt.

4000 Industrieroboter sind in der Schweiz im Einsatz. In einer ganzen Reihe von internationalen Programmen sind Hochschulen und Institute unseres Landes dabei, den Siegeszug der Robotik zu unterstützen. Was steckt dahinter? Was führte dazu? Im folgenden Gespräch wird diesen Fragen nachgegangen.

Das Gespräch mit Professor Roland Y. Siegwart führte Elsbeth Heinzlmann. Roland Y. Siegwart war von 1996 bis 2006 Professor für Autonome Systeme an der EPF Lausanne. Seit dem 1. Juli 2006 bearbeitet und lehrt er dieses Forschungsgebiet an der ETH Zürich am «Institut für Robotik und Intelligente Systeme».

Der Schweizer Knickarmroboter «Katana» durfte europaweit als erster ohne Abschrankung mit dem Menschen zusammenarbeiten, Schweizer Roboter sta-

peln in China Aluminiumblöcke und Schweizer Robotik partizipiert in ExoMars, der ersten europäischen Robotermission zum roten Planeten. Wo liegen die Stärken der Schweizer Robotik?

Die Schweiz hat ein hohes Ausbildungsniveau, gerade in der Ingenieurtechnik, und exzellente Hochschulen. Zudem pflegt sie Systemdenken und Systemintegration, verfügt über Know-how in Feinmechanik und Künstlicher Intelligenz (KI), ist traditionell stark in Automation und dem Bau von High-tech-Werkzeugmaschinen. Die Kombination dieser Stärken ist Voraussetzung für innovative Robotik. Unsere gut ausgebildeten Mechaniker können hoch präzise Werkzeugmaschinen für komplexe Hochgeschwindigkeitsbearbeitung realisieren. In den USA gibt es Präzisionsmechanik in dieser Form nicht, dafür KI von Weltklasse. Diese ist wiederum nicht die Domäne der Japaner, die dafür im Systembau die Nase vorn haben. Die Schweiz

hat echte Chancen, mit einer Verknüpfung von Kompetenzen in Robotik eine führende Rolle zu spielen. Sie besitzt schon heute die weltweit höchste Dichte an Roboterfirmen, besonders Spin-offs der Hochschulen, die Robotikprodukte von den Labors auf den Markt bringen.

In der Schweiz kommen jedes Jahr zu den 4000 rund 300 neue Roboter dazu. Zwischen 1990 und 2000 wanderten eine halbe Million Arbeitsplätze in Niedriglohnländer ab. Machen uns die stets leistungsfähigeren und kostengünstigeren Roboter den Job streitig?

Die Automatisierung ermöglicht uns, weiterhin in der Schweiz auf wettbewerbsfähigem Niveau zu produzieren. Zudem können wir unser Wissen in die Entwicklung von Maschinen und Robotern stecken und damit neue Märkte erschliessen. Aus der Robotikforschung resultieren auch innovative Pro-

dukte in anderen Technologiebereichen. Dies wiederum bedeutet die Schaffung neuer Arbeitsplätze mit hoher Wertschöpfung. Wichtig ist, dass wir nicht nur die Produktion in der Schweiz behalten, sondern ebenso die Entwicklung.

Die Roboter mähen unseren Rasen, saugen Staub, überwachen genauso effizient unseren Blutdruck wie den Strassenverkehr, fräsen Hüftknochen auf und holen als Löschroboter Menschen aus lodernnden Flammen. Gilt die Zukunft den Servicerobotern als Helfer des Menschen?

Serviceroboter sind im Kommen, dürften in Zukunft in ähnlich hoher Zahl hergestellt werden wie heute Fahrzeuge. Den Durchbruch schaffen vermutlich virtuelle Co-Piloten für Lastwagen. Das SPARC-Projekt (Secure Propulsion using Advanced Redundant Control) vereint europaweit Forscher, darunter die EPF Lausanne, um Fahrzeuge mit Technologien und Algorithmen, die für Mo-

bilrobotik entwickelt wurden, auszurüsten und so die Sicherheit im Strassenverkehr zu erhöhen. Eine wichtige Aufgabe kommt der Servicerobotik in naher Zukunft für Überwachungszwecke zu, beispielsweise in der Humanmedizin oder für die Inspektion und Reparatur komplexer Energieanlagen.

Forscher meinen, Roboter könnten dem Menschen besonders gefährliche Arbeiten abnehmen. Als man aber nach der Katastrophe im Kernkraftwerk von Tschernobyl Roboter in die strahlende Ruine schicken wollte, versagten die Hightech-Gesellen, blieben stehen, fielen um oder die Gammastrahlung machte ihrer Elektronik den Garaus. Geben wir uns zu kühnen Träumen hin?

Gerade in der Servicerobotik im Dienst des Menschen steckt Potenzial. Aber noch fehlt diesen Robotern die Fähigkeit, autonom zu handeln und komplexe Situationen zu meistern. Oft sind Forscher derart fasziniert von

ihrer Arbeit, dass sie Visionen in greifbare Nähe rücken. Wir dürfen als Wissenschaftler nicht zuviel versprechen, müssen realistisch bleiben. Ein gerüttelt Mass an Forschung und Entwicklung ist noch nötig. Die Zeitspanne vom Labor zum Markt dauert ohne weiteres zehn Jahre.

Die EU entschied sich im 7. Rahmenprogramm für Robotik, was die Wichtigkeit des Themas zeigt. Die Initiative «Beyond Robotics» peilt Roboter als Begleiter des Menschen an. Welche Kompetenzen steuert die Schweizer Robotikforschung bei?

Die Schweiz bringt ihr Wissen in zwei Programme ein. Einerseits im COGNIRON, das Roboter für das Umfeld des Menschen konzipiert, die kontinuierlich lernen und neue Fähigkeiten entwickeln. Andererseits in I-SWARM, wo es um die Miniaturisierung und Steuerung von Schwärmen geht, bestehend aus bis zu 1000 Roboterchen mit unterschiedlichen Sensoren, Manipulatoren und Rechenleistung. Hier ist eine Kombination von Feinwerktechnik, Mikromechanik und Mikrosystemtechnik mit KI gefragt.

Während der Expo 02 nahmen an der EPFL entwickelte Roboter die Besucher in Empfang, antworteten mehrsprachig auf ihre Fragen und lichteten sie ab. Was ist aus dieser weltgrössten autonomen und interaktiven Roboterinstallation geworden?

In der Folge gründeten Mitarbeiter der EPFL das Spin-off BlueBotics SA, das innovative mobile Robotiktechnologien vermarktet. Einer der Roboter führt in Irland Besucher durch eine Ausstellung, ein anderer tritt als Moderator im Tessiner Fernsehen auf. Drei ehemalige Expo-Roboter, gestaltet von der Hochschule für Gestaltung und Kunst in Lausanne, sollen als Schauspieler im Mensch-Maschinen-Ballett «Robots, Rosen für Jusinka» auftreten. Zwei verblieben im Autonomous System Lab der EPFL, wo in einem Folgeprojekt die Interaktion zwischen Mensch und Roboter kritisch hinterfragt wird. ■

Steckbrief EURON

Im europäischen Netzwerk für Robotikforschung EURON spüren renommierte Robotikexperten Themen mit Zukunftspotenzial auf und geben dieses Wissen rasch an Forscherkollegen und Politiker weiter. In Kolloquien tauschen sie Ideen aus, initiieren Kooperationen und schlagen damit eine Brücke zwischen Forschung und Unternehmen. Dem 1999 im EU-Rahmenprogramm gegründeten Kompetenznetz gehören heute 160 Mitglieder aus 22 Ländern an. Gross geschrieben sind Aus- und Weiterbildung, beispielsweise mit den beliebten «Summer schools» auf Topniveau, die jedes Jahr Doktoranden aus ganz Europa und Übersee anlocken. Die in der EURON-Plattform entstehende Dynamik beschleunigt als Triebfeder für Forschen und Lernen den Innovationsprozess, gibt der europäischen Industrie die Chance, Projekte mit Marktpotenzial anzupacken und auch in Zukunft die Nase vorn zu haben. www.euron.org

URL-Adressen

Europäisches Robotikforschungsnetz EURON:	www.euron.org
COGNIRON (The Cognitive Robot Companion)	www.cogniron.org
I-SWARM (Intelligent Small World Autonomous Robots for Micro-manipulation)	www.i-swarm.org
NEUROBOTICS (The Fusion of Neuroscience and Robotics for augmenting Human Capabilities)	www.neurobotics.info