

Mit intelligenten Maschinen in die Zukunft



Exzellenzcluster Cognition for Technical Systems

Unsere Zukunftsvision: Service-Roboter als Helfer für alle Lebenslagen

Wer »PR2« beim Einkaufen durch den Supermarkt rollen sieht oder Rosie und James beim gemeinsamen Pfannkuchen backen beobachtet, bekommt einen ersten Eindruck davon, was Roboter schon heute leisten können. Doch das ist nur der Anfang. Denn in Zukunft werden sie sich als fester Bestandteil unserer Lebenswelt etablieren, mit uns wohnen und uns zur Hand gehen. Um mit Menschen erfolgreich zusammenarbeiten zu können, müssen Roboter jedoch ihr Umfeld erkennen sowie flexibel, intuitiv und eigenständig handeln. Der Exzellenzcluster CoTeSys forscht intensiv daran, dies zu ermöglichen.

Welche Rolle intelligente Maschinen künftig spielen, zeigen gesellschaftliche und wirtschaftliche Megatrends. Einer davon: Die deutsche Alterspyramide steht bald Kopf. Laut Statistischem Bundesamt wird im Jahr 2035 knapp die Hälfte der Gesamtbevölkerung über 50 Jahre alt sein, jeder dritte Deutsche über 60 – ein Umstand, auf den sich vor allem der Pflegebereich einstellen muss. Service-Roboter könnten hier zum Beispiel körperlich anstrengende Aufgaben übernehmen. Auch in der industriellen Fertigung kann die intelligente Technik einen wertvollen Beitrag leisten – vor allem für den Mittelstand, wo hoch spezialisierte und maßgeschneiderte Produkte weiter an Bedeutung gewinnen. Universelle Roboter können dabei Montageabläufe selbstständig planen und von Bauteil zu Bauteil anpassen – auch am Fließband.

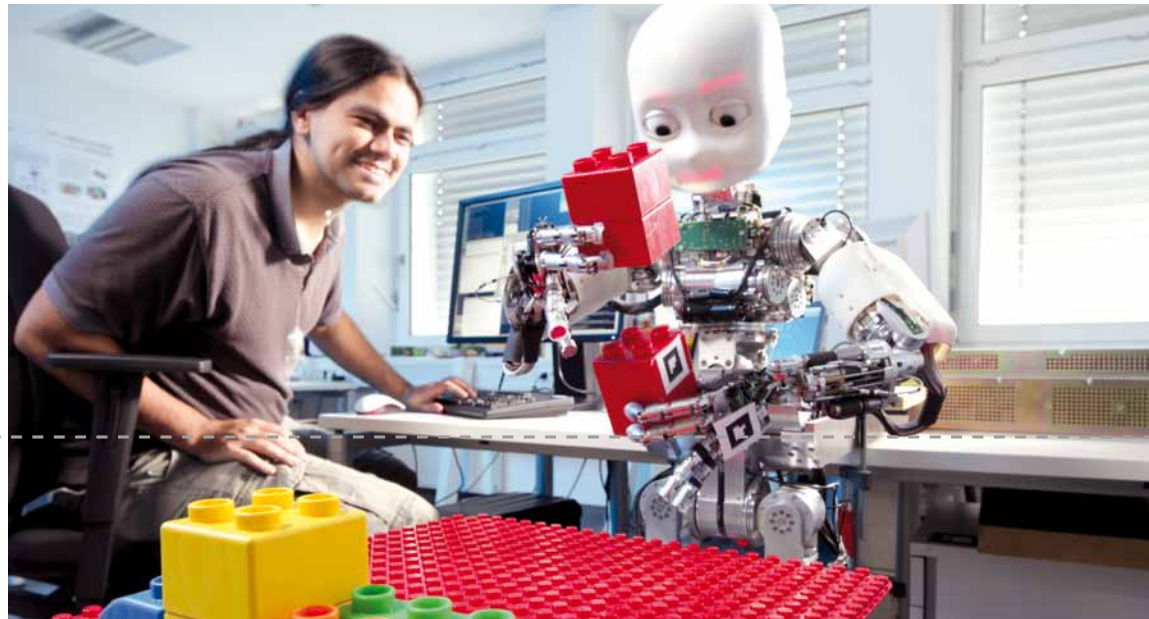
CoTeSys-Spitzenforschung im Exzellenzcluster

Der Exzellenzcluster Cognition for Technical Systems (CoTeSys) gehört zu den 37 Forschungsprojekten an deutschen Universitäten, die Bund und Länder im Rahmen ihrer Exzellenzinitiative fördern. Das Programm finanziert Spitzenforschung und wissenschaftlichen Nachwuchs. Das Ziel: Deutschland soll als Wissenschaftsstandort international wettbewerbsfähiger werden. Forschergruppen des ganzen Landes bewarben sich um den Titel »Exzellenzcluster« – das CoTeSys-Team unter Federführung der Technischen Universität München (Koordinator Univ.-Prof. Dr.-Ing. / Univ. Tokio Martin Buss) war 2006 erfolgreich. Der CoTeSys-Cluster besteht aus rund 100 Forscherinnen und Forschern der Technischen Universität München, der Ludwig-Maximilians-Universität München, der Universität der Bundeswehr München, des Max-Planck-Instituts für Neurobiologie Martinsried sowie des DLR-Instituts für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen. Die Förderung läuft zunächst bis 2012. Da das Forschungsprojekt langfristig angelegt ist, geht CoTeSys auch bei der nächsten Ausschreibung ins Rennen.

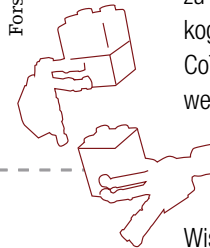


Intelligente Robotik: Sieht leicht aus, ist aber hoch kompliziert

Warum tun sich Roboter mit einfachen Handgriffen so schwer?



Forschungsgruppe Prof. M. Beetz



Menschen müssen sie deren Mimik und Gestik deuten, darauf entsprechend reagieren und eventuell sogar selbst Emotionen zeigen. Menschen nutzen all diese Fähigkeiten unbewusst und wie selbstverständlich, Roboter müssen sie erst mühsam erlernen.

Unser Lösungsansatz: Gelebte Interdisziplinarität

Es ist extrem aufwändig und äußerst komplex, Robotern kognitive Fähigkeiten zu implantieren. So komplex, dass nach heutigen Erkenntnissen die Erforschung kognitiver Fähigkeiten durch eine einzige Fachrichtung gar nicht mehr möglich ist. CoTeSys vereint deshalb das Wissen und Know-How **vieler Fachdisziplinen** und ist weltweit wohl der interdisziplinärste Cluster seines Forschungsgebietes. Über 100

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Biologie, Neurologie, Informatik, Maschinenbau, Elektrotechnik, Mathematik, Physik und Psychologie arbeiten Hand in Hand an der Entwicklung intelligenter Service-Roboter. Dabei spielt die praktische Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse eine zentrale Rolle: Aus theoretischen Studien leitet CoTeSys Verfahren ab, die sich auf technische Systeme übertragen lassen und in lebensnahen Szenarien erprobt werden. Der interdisziplinäre Ansatz hat sich dabei als Motor für Innovationen erwiesen und neuartige Strukturen in der Forschungslandschaft entstehen lassen. Gelebte Interdisziplinarität – dank ihrer sollen Roboter wie ICub, PR2 und Rosie über kurz oder lang nicht mehr nur mit Bauklötzen spielen oder Pfannkuchen backen, sondern als vollwertige Helfer zum Einsatz kommen.

»Im Bereich der Kognitionsforschung wird bereits viel geleistet. Die Umsetzung der Ergebnisse in technische Systeme steckt jedoch noch in den Kinderschuhen. Gleichzeitig ist die Thematik so komplex, dass sie von einer Fachrichtung alleine gar nicht mehr gestemmt werden kann. Deshalb stellt CoTeSys für mich eine gute Plattform dar, auf der verschiedene Disziplinen gemeinsam an einem Thema arbeiten.«

(Tamara Lorenz, Doktorandin der Ludwig-Maximilians Universität München)

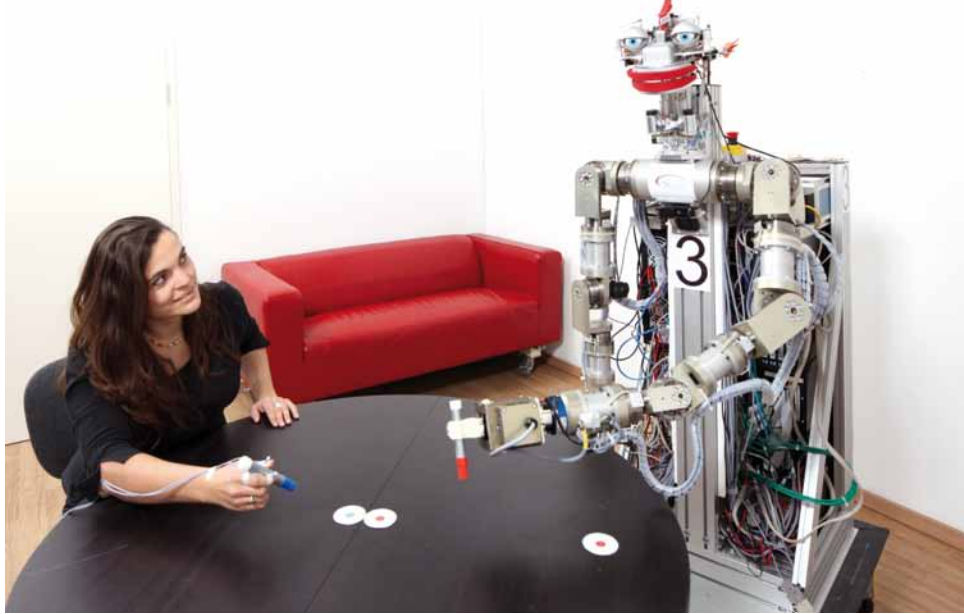
ICub übt
fleißig mit
Legosteinen.

Behutsam greift Roboter ICub zwei Legosteine und fügt sie zusammen. Seine dunklen Kulleraugen und weichen Gesichtszüge erinnern an ein Kleinkind. Doch im Gegensatz zu seinen menschlichen Vorbildern, die mühelos Bauklötze aufeinander türmen, fällt ICub die Aufgabe schwer: Er benötigt mehrere Anläufe, korrigiert oft seine Handhaltung. Die große Herausforderung für den kleinen Roboter liegt darin, seine visuellen, kognitiven und feinsensorischen Fähigkeiten aufeinander abzustimmen.

Flexibilität gefragt

Warum tun sich Roboter bei scheinbar trivialen Aufgaben so schwer? Schließlich gibt es doch

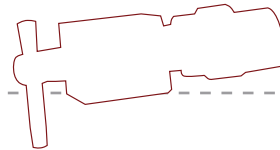
schon Supercomputer, die Schachweltmeister und Quiz-Champions besiegen. Der Unterschied liegt in der Fähigkeit zum **kognitiven Handeln**. Die Aktivitäten der Supercomputer bedingen zwar auf den ersten Blick eine hohe Intelligenz – doch letztlich liegen ihnen feste, vergleichsweise einfache Algorithmen zu Grunde. Um mit Menschen flexibel interagieren zu können, benötigen Roboter aber weitaus komplexere Fähigkeiten: Sie müssen ihre Umwelt wahrnehmen und einzelne Objekte erkennen. Außerdem sollen intelligente Roboter in der Lage sein, aus Erfahrungen zu lernen und implizites Wissen auf neue Situationen anzuwenden. Für einen möglichst natürlichen Umgang mit



Forschungsgruppe Prof. S. Hirche

Greifen und Heben wie ein Mensch

Wie lernen Roboter menschliche Handgriffe?



Intuitive
Bewegungen
muss der
Roboter erst
lernen.

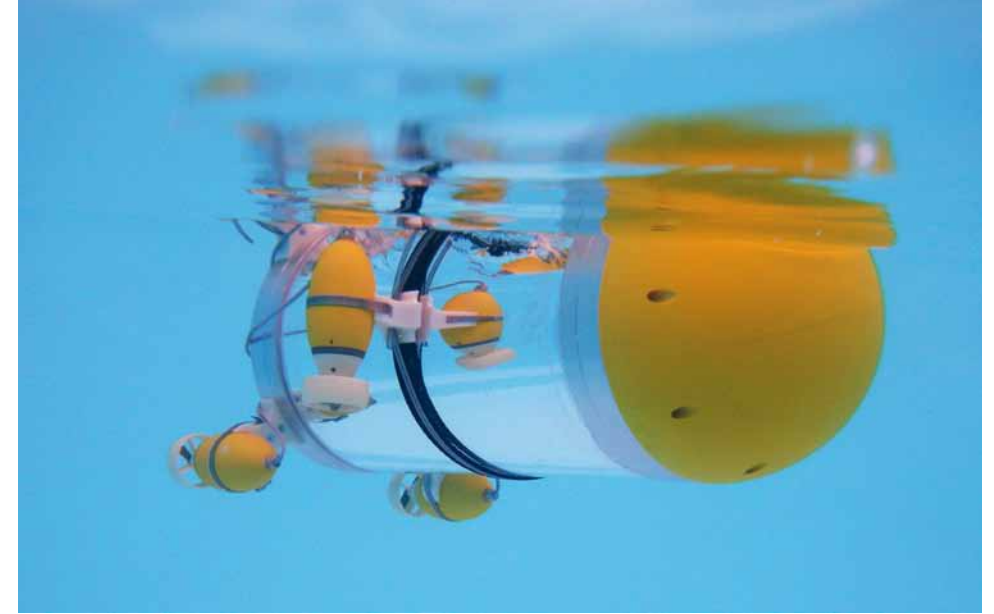
In Zukunft sollen Roboter sogar feinmotorisch anspruchsvolle Aufgaben übernehmen und zum Beispiel Bauteile selbstständig montieren: Ein hochgestecktes Ziel, denn schon vermeintlich einfache **Bewegungsabläufe**, wie einen Gegenstand zu greifen, oder eine Schranktür zu öffnen können Roboterhände vor **große Herausforderungen** stellen. Was bei den Menschen intuitiv erfolgt, also ohne groß nachzudenken, müssen die intelligenten Maschinen erst lernen. Daher untersuchen Psychologen bei CoTeSys, welche Techniken der Mensch anwendet, um Gegenstände von unterschiedlicher Größe, Form und Gewicht sicher zu greifen. Um diese Erkenntnisse dann in die Maschine zu übertragen.

Die Psychologie hilft

In Versuchsreihen mit menschlichen Probandinnen und Probanden erfassen Sensoren Position,

Bewegungsablauf und Kraft der einzelnen Finger sowie die Haltung der gesamten Hand. Sie ermitteln, wann Menschen eine Hand oder zwei Hände nutzen und wie sie ihren Körper einsetzen, wenn sie Gegenstände greifen oder heben. Anschließend werden die Bewegungsabläufe analysiert, abstrahiert und in mathematische Algorithmen übertragen. Anhand dieser Handlungsvorschriften entscheidet der Roboter, wie er seine Arme und Hände koordiniert, um ein Objekt zu greifen. Und wie er dabei Kollisionen mit Menschen oder anderen Gegenständen vermeiden kann, wenn er zum Beispiel etwas aus einer Schublade holen soll.

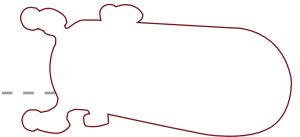
Menschen fühlen sich in der Gegenwart eines Roboters wohler, wenn dieser Bewegungen so ausführt, wie sie dem Menschen vertraut sind. So werden unerwartete Situationen und Abläufe vermieden, was wiederum die Zusammenarbeit sicherer macht.



Forschungsgruppe Prof. S. Hirche, Prof. L. van Hemmen

Ein Fisch als Vorbild

Wie die Robotik von der Biologie lernen kann.



Der kleine Unterwasser-Roboter Snookie soll sich vollkommen sicher und selbstständig durch unbekannte Gewässer bewegen – und das selbst bei starker Verschmutzung oder völliger Dunkelheit. Die Technik dafür hat sich CoTeSys bei der Natur abgeschaut. Denn der mexikanische Höhlenfisch *Astyanax* hat im Laufe der Evolution einen Weg entwickelt, um auch ohne Sehkraft durch düstere Gewässer navigieren zu können.

Orientierung ohne Augen.

Ein **linienförmiges Sinnesorgan** entlang des Körpers erlaubt dem Höhlenfisch feinste Druck- und Strömungsunterschiede beim Schwimmen wahrzunehmen und daraus ein **Bild der Umgebung** zu rekonstruieren. U-Boot Snookie hat zwar kein entsprechendes Organ, aber bei ihm erfassen kleinste Sensoren im Bug selbst minimale Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit. Mit

diesen Informationen kann der gelbe Roboterfisch ohne fremde Steuerung seine Umwelt erkunden, Hindernisse erkennen und ihnen gekonnt ausweichen. Ob beim Wracktauchen, bei Höhlenexpeditionen oder bei der Suche nach abgestürzten Flugzeugen – die Zukunft hält für das Snookie-Team noch spannende Aufgaben bei der Integration der einzelnen Bestandteile bereit.

Mit diesem
Sensor orientiert sich der
Roboterfisch
Snookie.

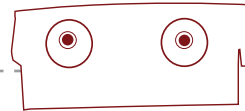




Forschungsgruppe Prof. G. Rigoll

Wünsche von den Augen ablesen

Zu einer natürlichen Kommunikation gehört Augenkontakt



Dem Menschen ebenbürtig: Die Augen von Roboter Elias.

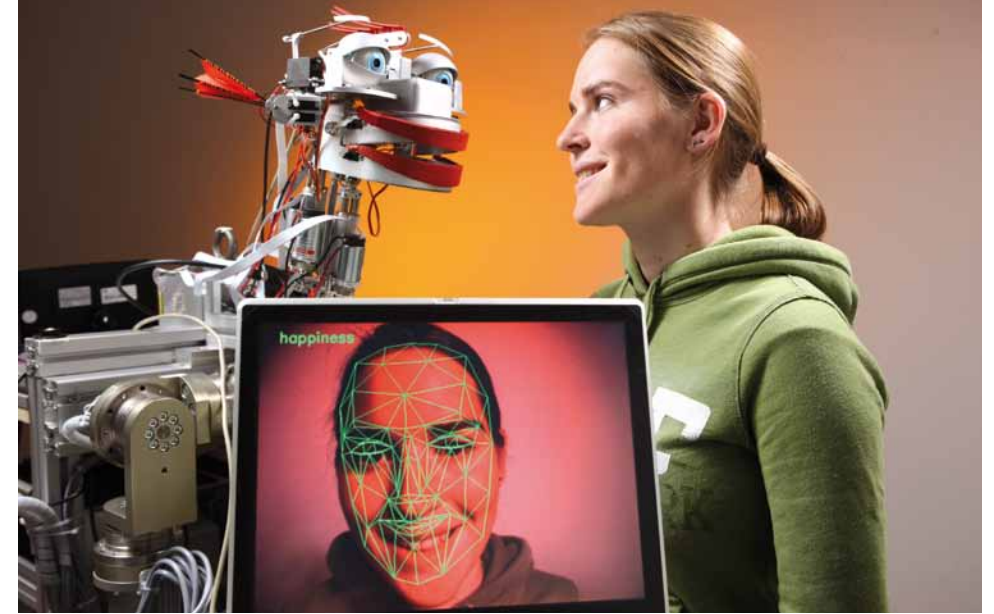
Statt nur in Fabrikanlagen fest eingegrenzte Tätigkeiten starr und monoton zu wiederholen, sollen Roboter künftig flexibel mit Menschen und anderen Maschinen interagieren können. Ziel der Servicerobotik ist es, den Menschen bei der Arbeit und im **Alltag aktiv zu unterstützen**. Doch kann das gemeinsame Leben mit einer Maschine funktionieren? Roboter Elias lernt zu diesem Zweck, die Blicke des Menschen wahrzunehmen und zu interpretieren. Denn Blicke sagen eine



Menge über die Absichten eines Menschen aus. Seine kleinen Roboteraugen sind so schnell wie die eines Menschen und verfolgen mit moderner Eye-Tracking-Technologie die Blickbewegungen seines Gegenübers. So soll Elias dessen Absichten und Wünsche erkennen, noch bevor diese geäußert werden.

Blicke interpretieren

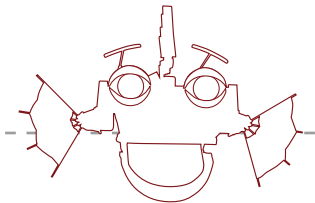
Gerade für alte oder kranke Menschen kann Elias zu einem wertvollen Partner werden, der sie zum Beispiel daran erinnert, wichtige Medikamente einzunehmen, oder im Notfall schnell Hilfe anfordert. Damit das Zusammenleben ohne Frustration ablaufen kann, lernt Elias, die natürliche Sprache des Menschen zu verstehen sowie Gestik und Mimik zu deuten. Schließlich muss auch ein Roboter erkennen, wann seine Unterstützung gefragt ist. Und wann er sich diskret zurückziehen soll.



Forschungsgruppen Prof. M. Buss und Prof. B. Radig

Auch Roboter zeigen Gefühle

Und sollten die Stimmung der Menschen erkennen



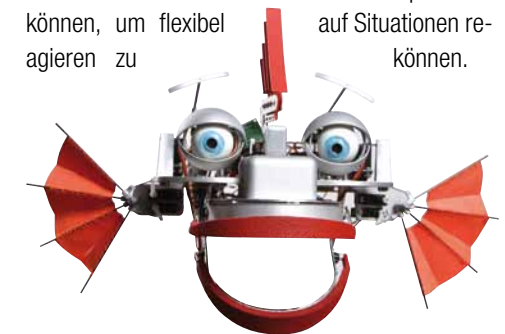
Ein großer Teil der zwischenmenschlichen Kommunikation erfolgt non-verbal. Doch selbst für Menschen ist es nicht immer leicht, die Gesichtsausdrücke ihrer Gesprächspartner richtig zu deuten. Für Roboter Eddie ist es eine noch größere Herausforderung, menschliche Emotionen zu erkennen und zu übernehmen, da er sie nicht intuitiv beherrscht, sondern erst mühevoll erlernen muss. Dazu analysiert Eddie anhand von definierten Markierungspunkten den Gesichtsausdruck des Menschen, um den **Gefühlszustand seines Gegenübers** zu ermitteln. Mit seinem einzigartigen Robotergesicht kann er anschließend die erkannten Gefühle spiegeln.

Eddie stellt den Kamm auf

Lächelt sein Besitzer ihn an, verzieht auch Eddie seinen roten Kirschmund zu einem breiten Grinsen. Schaut sein Gegenüber hingegen verärgert

drein, stellt Eddie den Hahnenkamm auf seinem Kopf auf. Damit die Mensch-Maschine-Kommunikation möglichst natürlich ablaufen kann, lernt Eddie derzeit, seine Emotionen passend zur Gesprächssituation einzusetzen.

Ob als Kellner im Restaurant oder als Monteur in der Autowerkstatt: Eddie soll mit Menschen zusammenarbeiten und sie bei der Arbeit unterstützen. Damit es dabei nicht zu Unfällen kommt, muss er auch die Mimik des menschlichen Partners einschätzen und interpretieren können, um flexibel auf Situationen reagieren zu können.



Eddie zeigt seine Launen.

Vom Routineablauf zur flexiblen Aktion – Lernen in der Küche

Wie lernen Roboter sich in einer Küche zurechtzufinden?

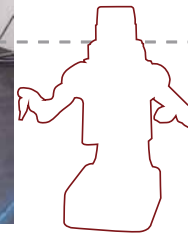


Forschungsgruppe Prof. M. Beetz



Warum es mit der Klappe klappt

James und Rosie können sich auch an ganz bestimmte Gegenstände erinnern. So merkt sich James, welche Schubladen er schon geöffnet hat. Bei diesen weiß er ganz genau, in welche Richtung und mit wie viel Kraft er ziehen muss. Bei unbekanntem Objekt greift er auf das allgemeinere Programm zum Öffnen von Klappen und Türen zurück.



Die Umgebung anhand der vorhandenen Sensoren-Daten zu erfassen, ist keinesfalls eine triviale Aufgabe. Zwar sind Rosie und James unter anderem mit je zwei Kameras ausgestattet und sehen daher räumlich. Aber gegen optische Täuschungen sind auch Roboter nicht gefeit. Sie interpretieren und selektieren die Daten deshalb anhand ihres Vorwissens.

Zahlreiche Einsatzszenarien sind für die intelligenten Roboter denkbar. Die Küche wählte das Forscherteam, weil es dort viele **komplexe Aufgaben** zu erledigen gibt. Außerdem sehen Küchen deutschlandweit ähnlich aus. So können die Forscherinnen und Forscher leicht testen, wie Rosie und James ihr Wissen in ähnlichen Räumen auf unbekanntem Terrain anwenden können.

»Vielen Menschen ist die immense Schwierigkeit der technischen Umsetzung von kognitiven Fähigkeiten gar nicht bewusst. Einerseits machen wir Intelligenz an Dingen fest, die von der Rechenleistung her sehr einfach zu handhaben sind. Auf der anderen Seite sind die für uns Menschen selbstverständlichsten Dinge, wie das Öffnen eines Kühlschranks, technisch am schwersten umzusetzen. Intelligente Maschinen und Roboter sind noch nicht in unserer Lebenswelt angekommen. Daran forscht und arbeitet CoTeSys.«

(Prof. Michael Beetz, Vorstand und stellvertretender Koordinator, CoTeSys)

Die
Küchenhelfer
von morgen.

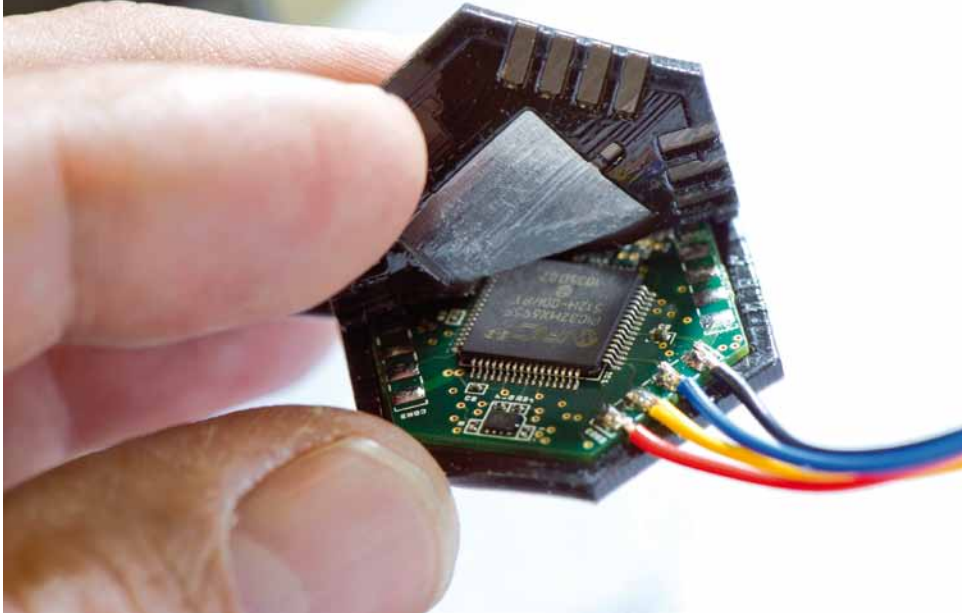
Rosie rollt ihre 200 Kilogramm zur Arbeitsplatte. Sie soll einen Pfannkuchen backen. Im Internet findet sie eine Backanleitung mit Fertigteig. Ihr Partner in der Küche ist James, genau wie sie ein Roboter. Die beiden verbindet eine ungewöhnliche Aufgabe: Sie **üben Kognition** – das selbstständige Planen, Handeln und Entscheiden. Deswegen sind die Aufgaben, die ihnen die Forscherinnen und Forscher des Exzellenzcluster CoTeSys stellen, absichtlich abstrakt formuliert. Die einzelnen Schritte zur Lösung müssen die Roboter alleine herausfinden.

Sie nutzen das Internet, um sich über benötigte Objekte zu informieren. Bei der Recherche zum Pfannkuchen-Backen finden sie beispielsweise

nicht nur das Aussehen der Teigmischung heraus, sondern auch deren wahrscheinlichsten Aufenthaltsort: James sucht das als verderblich gekennzeichnete Produkt im Kühlschrank.

Übung macht den Meister

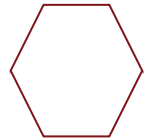
Auch bei anderen praktischen Aufgaben lernen die beiden dazu. Genau wie Menschen verwenden sie für ähnliche Aufgaben immer die gleichen Bewegungen. Diese Routineabläufe haben sie in vielen Übungen optimiert. Wenn sie keine passende Bewegung auf Lager haben, überlegen sie sich eine neue. Oft wirkt diese noch wenig elegant oder unpraktisch. Beispielsweise, wenn der Robo-



Forschungsgruppe Prof. G. Cheng

Neue Herausforderungen warten

Erste Erfolge auf dem Weg zum echten Helfer



Diese Plättchen bilden die sensible Haut für Roboter.

Der Mensch ist in dem, was er tut, ziemlich gut. Diese Erfahrung machen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von CoTeSys immer wieder, wenn es darum geht, scheinbar simple Aufgaben wie das Wenden eines Pfannkuchens einem Roboter beizubringen. Auch gibt es noch keinen Roboter, der in der Lage ist, einen Nagel in die Wand zu schlagen.

Kopien des Menschen sind nicht das Forschungsziel von CoTeSys. Das Ziel ist vielmehr, die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter in der Fabrik, im Krankenhaus oder eines Tages auch zuhause zu vereinfachen, sicherer und unkomplizierter zu gestalten. Der Serviceroboter der Zukunft kann vielfältige Formen annehmen, soll in jedem Fall aber seinem »Master« klar definierte Aufgaben abnehmen.

Trotzdem müssen die Maschinen von den Forscherinnen und Forscher noch eine Reihe von Fähigkeiten bekommen, um echte Helfer zu werden. Ein wichtiger Schritt ist beispielsweise die Entwick-

lung einer sensiblen Roboterhaut. Ein CoTeSys-Team hat kleine sechseckige Plättchen mit empfindlichen Sensoren entwickelt, die miteinander verbunden eine sensible Haut bilden. Die Art, wie die Kunsthaut berührt wird, kann beim Roboter z.B. zu einem spontanen Zurückweichen führen. Dies wird ihm nicht nur helfen, sich in einer unbekannteren Umgebung besser zurechtzufinden. Der Roboter kann damit auch seine eigenen Abmessungen, Geschwindigkeiten und Kräfte erlernen.

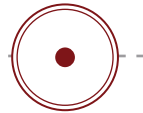
Weltweit wird auf diesen Gebieten geforscht, wobei nur in Umrissen erkennbar ist, mit welchen Ergebnissen wir in fünf oder erst in fünfzehn Jahren rechnen können. CoTeSys hat sich zum Ziel gesetzt, diesen Prozess durch interdisziplinäre Zusammenarbeit zu beschleunigen und sowohl wissenschaftliche Spitzenleistung als auch Nutzungspotenziale bei der Übertragung der Ergebnisse auf Produkte und Dienstleistungen zu mobilisieren.



Forschungsgruppe Prof. K. Diepold

Auch andere Branchen profitieren

Viele Industriezweige stehen vor ähnlichen Fragen



Die meisten Menschen denken heute bei Robotern an große, ungelentete Maschinen in riesigen Fabrikhallen, die bis ins Kleinste festgelegte Aufgaben abarbeiten. Die Service-Roboter der Zukunft haben nichts mehr mit diesem Klischee gemein: Sie sollen sich frei bewegen, natürlich kommunizieren und eigene Entscheidungen treffen können.

Forschung gefordert

Bis dahin ist es noch ein weiter Entwicklungsweg: Gerade im Bereich der Material- und Regelungstechnik sowie der Mechatronik gibt es Forschungsbedarf. So sollen beispielsweise Arme und Gelenke leichter werden, aber nichts von ihrer

Kraft einbüßen. Bei der Sensorik forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vor allem an der haptischen Erkennung durch Tastsensoren. Die Senkung des Energieverbrauchs und der Herstellungskosten sind weitere zentrale Aspekte.

Auch die Automobil- und Luftfahrtindustrie beschäftigt sich intensiv mit ganz ähnlichen Themen und nutzt dafür die Forschungsergebnisse von CoTeSys. Durch die enge Zusammenarbeit und den Austausch mit anderen Einrichtungen wirkt CoTeSys bei der Technologieentwicklung und der Stärkung des Wirtschaftsstandortes Deutschland mit. So kommt die Mission von CoTeSys, Menschen durch intelligente Maschinen zu entlasten, auf vielfache Weise zum Tragen.

Intelligentes Laser-Schweißen

Partner und Fakten

Laufzeit: 2006-2012

Technische Universität München (Sprecheruniversität),
Ludwig-Maximilians-Universität (LMU),
München
Universität der Bundeswehr München (UBM),
Neubiberg
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),
Oberpfaffenhofen
Max-Planck-Institut für Neurobiologie (MPI),
Martinsried



Bildnachweis

Titelbild: Astrid Eckert/TU München

CoTeSys/Kurt Fuchs: S. 3, 4, 6, 9, 10, 13

Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik – Team Snookie S. 7

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation/TU München S. 8

Andreas Heddergott/TU München: S. 12

Koordination

Univ.-Prof. Dr.-Ing./Univ. Tokio Martin Buss, Koordinator

Univ.-Prof. Michael Beetz, PhD stellvertretender Koordinator

Geschäftsführung: Dr. Uwe L. Haass

Impressum und Kontakt

Herausgeber

Exzellenzcluster Cognition for Technical Systems

General Manager Dr. Uwe L. Haass

Barer Straße 21

80290 München

Tel: 089/289-257 23

Fax: 089/289-257 24

www.cotesys.org

Redaktion

Dr. Uwe L. Haass (V.i.S.d.P.)

Wibke Borgmesser

Autoren

Prof. Lutz Frühbrodt

Dagmar Oberndorfer

Lena Gerhard

Sophie Zeune

Wibke Borgmesser

Gestaltung

www.kleinundbunt.de

Exzellenz in München



»Wir entwickeln intelligente Roboter, die vielfältige Aufgaben übernehmen – aber der Mensch bleibt bei all unseren Bestrebungen im Zentrum. Die Maschine soll dem Menschen dienen und helfen, aber kein unerwünschtes Eigenleben entwickeln.«

(Dr. Uwe Haass, Geschäftsführer CoTeSys)