

Kollege Roboter

In der Fabrik der Zukunft werden Roboter und Mensch zusammenarbeiten. Dafür müssen die Kollegen aus Blech noch eine Menge lernen – zum Beispiel wie man Erfahrungen sammelt, Probleme löst oder Rücksicht nimmt. Bei Forschern des Exzellenzclusters CoTeSys gehen sie in die Lehre

Link

[www.cotesys.org
http://portal.mytum.de/film/cognitive_factory_flash](http://portal.mytum.de/film/cognitive_factory_flash) (Film)

Des Roboters Sinne: Mikrofone (links) und Körperschallsensoren (rechts: Zylinder zwischen den Klemmen) helfen dem Laserroboter, optimal zu schweißen oder – wie hier – zu schneiden

Wer in Süddeutschland Hightech-Operationsbesteck herstellt oder Komponenten für Lenksäulen, der kennt wahrscheinlich Dr. Johannes Weiser. Weiser ist Geschäftsführer der BBW-Lasertechnik, einem Unternehmen mit 60 Mitarbeitern bei Rosenheim. Hier werden im Auftrag großer und kleiner Firmen zum Beispiel Stifte an Minimalinvasiv-Chirurgieinstrumente oder Blechelemente an Präzisionsrohre für Lenksäulen geschweißt – mit Laserstrahlen. Denn die hochenergetischen Lichtbündel bringen Metalle nur lokal zum Schmelzen und erlauben exaktes Arbeiten mit hoher Geschwindigkeit, ohne dass sich die Werkstücke durch Hitze verziehen oder die Schweißnaht auf der Rückseite sichtbar wird. Laserschweißen ist daher sehr beliebt in der Branche, zumindest bei Stahl. Hier ist der Prozess gut verstanden,

und „die Kunden verlangen, dass man den Schweißprozess sicher beherrscht“, weiß Weiser. Das sieht bei Aluminium ganz anders aus, denn immer wieder entstehen hier Lufteinschlüsse oder Haarrisse, die – von außen nicht sichtbar – die Laserschweißnaht schwächen. Dabei könnte eigentlich vieles aus dem Leichtmetall hergestellt werden wie zum Beispiel Gastanks – wenn nur die Schweißnaht dicht zu bekommen wäre. Weiser ist da skeptisch: „Das Laserschweißen von Aluminium ist derzeit nicht beherrschbar, da traut sich kaum ein Unternehmen ran.“ Lediglich Firmenriesen wie Airbus fügen seit kurzem Flugzeugrümpfe per Laser zusammen – dahinter steht aber eine eigens konstruierte Anlage, die zehn Entwicklungsjahre verschlungen hat. Doch bald könnte das Laserschweißen von Aluminium zum Repertoire auch mittelständischer Unternehmen



Foto: Ingo Stork

gehören, meinen zumindest Wissenschaftler des Exzellenzclusters CoTeSys der TU München. CoTeSys, das steht für „Cognition for Technical Systems“ (Erkenntnisfähigkeit technischer Systeme). In dem Forschungsverbund geht es darum, Maschinen intelligent zu machen, sodass sie mithilfe von Informationen aus ihrer Umgebung selbstständig Entscheidungen treffen können: Sie sollen kognitive Fähigkeiten erhalten.

Roboter bekommen Sinnesorgane

Solche kognitiven Fähigkeiten könnten Laserschweißrobotern zukünftig bei der Aluminiumbearbeitung helfen. Im Forschungsprojekt CoTeSys lernen die maschinellen Azubis zunächst, welche Tücken beim Alu-Schweißen lauern. Dazu „beobachten“ die Roboter über verschiedene Sensoren, was beim Schweißen passiert.

Denn auch Menschen mit viel Erfahrung können Fehler schon während des Vorgangs erkennen, am veränderten Funkenflug zum Beispiel oder an einer Temperaturschwankung. Experten wie Johannes Weiser hören zuweilen sogar, wenn zwei Bleche schlecht zusammengeschweißt werden.

Ein CoTeSys-Wissenschaftler, Thibault Bautze, Ingenieur am Lehrstuhl für Datenverarbeitung, erklärt: „Wir sammeln während des Laserschweißens Daten von Photodioden, einer Videokamera, von Mikrofonen und Körperschallsensoren und messen so verschiedene Frequenzen und geometrische Eigenschaften des Schweißbades, jede Sekunde 100 Megabyte an Daten.“ Aus diesen Daten filtern die Wissenschaftler jene heraus, die wirklich einen Fehler in der Schweißnaht anzeigen. Der Vorteil: Den physikalischen Grund für ▶

Robotik

den Fehler brauchen die Forscher nicht zu verstehen, sie sammeln nur sein „Echo“ in den Sensoren. Bautze erläutert: „Wir arbeiten daran, die relevanten Wellenlängen und Frequenzen herauszufiltern. Wir können jetzt schon die Datenmenge auf 100 Kilobyte pro Sekunde reduzieren.“ Denn schließlich will kein Unternehmer neben jedem Schweißroboter noch einen Hochleistungsrechner bezahlen.

Am Ende soll der Roboter an den Sensoren ablesen können, was er tun muss, damit die Naht perfekt wird – egal, ob die Dicke eines Blechs um ein paar Millimeterbruchteile schwankt, ob es winzige Änderungen in der Metalllegierung gibt, ob die Temperatur in der Fabrikhalle an einem Sommertag um ein paar Grad steigt oder ob einfach nur der Laserkopf etwas langsamer fahren muss, weil es um eine Kurve geht. Das Aluminiumschweißen wird seine Unberechenbarkeit verlieren, und auch die vielen unterschiedlichen Aufträge, die in einem mittelständischen Unternehmen anfallen, sollten leichter zu bewältigen sein. Denn ein Roboter, der lernt, muss nicht für jeden neuen Auftrag vollkommen neu programmiert werden.

Wenn ein einzelner Roboter so viel lernen kann, welches Potenzial hat dann erst eine ganze intelligente Fertigungsanlage? In einer großen Halle des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der TUM gibt es sie schon, die „Kognitive Fabrik“. Dort entsteht unter anderem ein Spielzeug-Labyrinth. Das besteht aus schwarzem Kunststoff, ist halb so groß wie ein Taschenbuch, und durch geschicktes Kippen lässt sich eine kleine silberne Kugel durch die gewundenen Gänge zum Ziel rollen. Belohnung für den erfolgreichen Spieler: Eine Reihe bunter Lämpchen leuchtet auf. Ein



Die Werkzeugmaschine bohrt die Gänge des Labyrinths in den Kunststoff

CoTeSys (Cognition for Technical Systems)

Wenn technische Systeme wahrnehmen, schlussfolgern, lernen und planen, besitzen sie kognitive Fähigkeiten und „wissen, was sie tun“. Seit 2007 untersuchen Wissenschaftler des Exzellenzclusters CoTeSys ausgehend vom menschlichen Gehirn, wie technische Systeme – Fahrzeuge, Roboter und Fabriken – mit solchen kognitiven Fähigkeiten ausgestattet werden können. Das Ziel: Komplexe Maschinen sollen sich besser auf das äußere Umfeld und den menschlichen Bediener einstellen und dadurch Flexibilität und Produktivität steigern.

Die CoTeSys-Institutionen:

Technische Universität München, Ludwig-Maximilians-Universität München, Universität der Bundeswehr München, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Max-Planck-Institut für Neurobiologie

CoTeSys-Sprecher:

Prof. Martin Buss, Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, Technische Universität München

durchsichtiger Kunststoffdeckel sorgt dafür, dass die Kugel nicht herausfällt. Um das Labyrinth zu fabrizieren, sind mehrere Arbeitsschritte nötig: Eine Maschine mit verschiedenen Werkzeugen fräst das Labyrinth in den schwarzen Kunststoff und bohrt Löcher zur Befestigung des Deckels. Ein Montageroboter – ein Greifarm mit sechs Gelenken – legt die Kugel ein und setzt den Deckel auf.

Der Zentralrechner fragt: „Wer kann was?“

In einer normalen Fabrik würde ein Softwareentwickler jetzt ein Programm schreiben, das bestimmt, welche Maschine in welcher Reihenfolge welchen Arbeits-



Fertig gefräste Labyrinth nimmt ein Greifarm aus der Werkzeugmaschine und setzt sie auf ein Förderband Richtung Montage



Foto: Kurt Fuchs

Besser als eine Maschine kann der Mensch Kabel und Lämpchen in das Labyrinth einbauen. Der Roboter hat hier nur die Rolle des Assistenten, er hält den Akkuschrauber

schritt ausführt: fräsen, bohren, einlegen, aufsetzen, festschrauben. Dann würde alles laufen „wie am Fließband“ – mit allen Nachteilen einer Fließbandproduktion. Denn wenn beispielsweise ein Bohrer bricht, stoppt die ganze Kette, bis der Bohrer repariert ist. Das wäre bei den Spielzeug-Labyrinth der CoTeSys-Forscher verschmerzbar. Aber in Unternehmen, die „just in time“ produzieren, kann eine ausgefallene Maschine hohe Kosten verursachen. Das versuchen die CoTeSys-Forscher in ihrer Kognitiven Fabrik zu umgehen. Hier gibt es zwar ein zentrales Programm, die Produktionssteuerung, die die Aufgaben zuteilt. Allerdings weiß die Produktionssteuerung nicht, wie das Labyrinth aussehen soll – alle Informationen dazu sind in einem Chip gespeichert, der unter dem schwarzen Kunststoffblock klebt. Der Chip

ist ein Funk- oder RFID-Chip – eine Art Speicherchip mit Antenne, der mit der Produktionssteuerung und den Maschinen kommuniziert. Auch die Maschinen wissen selber, was sie können – fräsen und bohren, greifen, heben, schwenken und schrauben.

Alles beginnt mit dem Auslesen des RFID-Chips: Die Produktionssteuerung analysiert, was getan werden muss und welche Teile benötigt werden. Dann fragt sie in die Runde: „Wer kann was? Wer hat Zeit?“ Sie legt einen Produktionsplan fest: Werkzeugmaschine A fräst das Labyrinth, Werkzeugmaschine B bohrt die Löcher. Der Montageroboter legt die Kugeln ein, setzt den Deckel auf und befestigt ihn mit vier Stiften. Nach jedem Schritt speichert der RFID-Chip ab, was be- ▶

reits gemacht wurde, sodass die Produktionssteuerung stets den Überblick über den aktuellen Stand bei allen Produkten hat. Das ist vorteilhaft bei Störungen. Wenn nämlich der Bohrer von Werkzeugmaschine A bricht und die Maschine nicht mehr weiterarbeiten kann, meldet sie das der Produktionssteuerung. Die disponiert um und beauftragt Werkzeugmaschine B, sowohl zu fräsen als auch zu bohren, so lange, bis Bohrmaschine A repariert ist und meldet: „Ich bin wieder bereit.“ Wenn dagegen dem Montageroboter zwischendurch die Kunststoffdeckel ausgehen, ändert die Produktionssteuerung sein Bearbeitungsschema und lässt ihn erst einmal nur die Kugeln in alle Labyrinth einsetzen, die per Förderband angeliefert werden. Später muss er dann nur noch die Deckel aufsetzen.

Massenproduktion des individuellen Handys

Christian Lau, Abteilungsleiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der TUM, erklärt: „Eine der größten Herausforderungen war und ist es, zu beschreiben, was eine Maschine kann und wie die Anforderungen des Produkts sind.“ Denn die Kognitive Fabrik soll genauso reibungslos und selbstständig

arbeiten, wenn für eine Sonderedition der schwarze Kunststoff des Labyrinths durch Metall ersetzt wird. „Wir konzipieren die Kognitive Fabrik gerade auch für kleine und mittlere Unternehmen, die immer variantenreicher und in immer kleineren Serien produzieren müssen. Automation und Teilautomation können dabei helfen, dem Konkurrenzdruck von Billiglohnländern standzuhalten“, sagt der Wirtschaftsingenieur.

Dass es einen Trend zu individuelleren Produkten gibt, bestätigt auch der Wirtschaftswissenschaftler Prof. Florian von Wangenheim, Inhaber des Lehrstuhls für Marketing an der TUM: „Der Mensch kauft heute Produkte, die zu ihm passen, Soziologen sprechen von der ‚Markenpersönlichkeit‘. Das betrifft besonders Dinge, die in der Öffentlichkeit konsumiert werden, wie Kleidung, Autos, Handys und mittlerweile auch Notebooks.“ Massenware wolle niemand mehr kaufen. Wenn es trotzdem nicht teuer sein soll, ist das Ziel also eine Massenmaßanfertigung, englisch: mass customization.

Auch wenn dazu mehr Roboter eingesetzt werden, muss damit kein Verlust von Arbeitsplätzen verbunden sein. Dies stellte 2006 eine Untersuchung des Fraun-

Der Montageroboter nimmt die Labyrinth vom Förderband, um Kugeln einzulegen und den Deckel aufzusetzen



hofer-Instituts für System- und Innovationsforschung fest: Unternehmen, die Industrieroboter einsetzen, beschäftigen sogar mehr Mitarbeiter. Dies liegt zum einen sicherlich daran, dass Roboter den Firmen helfen, ihre Position im Wettbewerb zu stärken. Zum anderen gibt es auch in hoch technisierten Herstellungsprozessen Arbeiten, in denen ein Mensch einfach flexibler ist.

Bei dem Spielzeuglabyrinth ist das der Einbau von Kabeln, Batterie und Lämpchen. Dr. Frank Wallhoff vom Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation der TUM erläutert: „Vollautomatisierte Fabriken ohne Menschen sind sicherlich nicht die Lösung für die Zukunft. Wenn wir das Einlegen der Kabel automatisieren wollten, die ja keine starre Form haben, wäre das sehr teuer und würde sich nur bei sehr großen Stückzahlen lohnen. Für eine kleine Firma würde sich das nicht lohnen.“ Trotzdem kann der Roboter helfen, indem er den Menschen bei einfachen Tätigkeiten unterstützt und zum Beispiel Bauteile und Werkzeug reicht. Das ist ein echtes Novum bei Industrierobotern, denn bis vor Kurzem galt: Die Arbeitsplätze von Roboter und Mensch sind strikt getrennt, der Sicherheit wegen.

Jetzt müssen die stählernen Helfer lernen, dem Menschen auszuweichen, auf gesprochene Anweisungen zu reagieren und ihr Arbeitstempo dem des Menschen anzupassen. Wallhoff: „Wenn eine Maschine einer anderen etwas anreicht, geschieht das am effizientesten auf direktem Weg und mit hoher Geschwindigkeit. Ein Mensch würde da reflexartig zurückschrecken. Deshalb bringen wir den Robotern Bewegungen bei, die auf den Menschen natürlich wirken.“ So reicht der Roboter die Schrauben zur Befestigung der Labyrinth-Elektronik mäßig schnell und von der Seite an – und holt schon einmal den Akkuschrauber, während Kollege Mensch die Schrauben aufsetzt.

Viele Aspekte von Bewegung, gegenseitiger Wahrnehmung und Kommunikation müssen berücksichtigt werden, wenn die Zusammenarbeit zwischen den Kollegen Mensch und Roboter einmal gut klappen soll. Daher arbeiten neben Informatikern und Ingenieuren von Maschinenbau und Elektrotechnik auch Psychologen im Cluster CoTeSys mit. Denn letztlich kommt es darauf an, die unterschiedlichen Stärken von Mensch und Maschine optimal zu verbinden. *Markus Bernards*

Das Bauteil, das der Techniker als Nächstes benötigt, wird von dieser Hightechbrille vor sein Auge projiziert

