

Unimagazin

Forschungsmagazin der Leibniz Universität Hannover
Ausgabe 03|04 • 2016

11
102
1004

Leibniz
Universität
Hannover

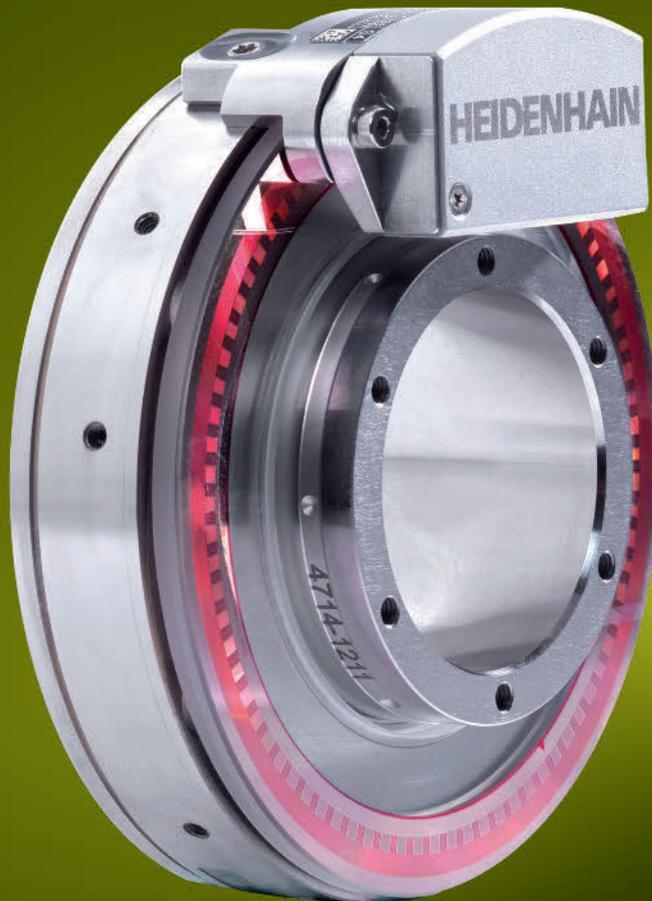


Robotik

Von Mensch zu Maschine



HEIDENHAIN



Winkelmessmodule – Die perfekte Kombination von hochgenauen Messgeräten und Präzisionslagern

Die neuen Winkelmessmodule verbinden die bewährte Messtechnik von HEIDENHAIN mit einer hochpräzisen HEIDENHAIN-Lagerung. Die Komponenten sind optimal aufeinander abgestimmt und bilden eine hochintegrierte Baugruppe mit spezifizierter Genauigkeit. Auf diese Weise vereinfachen HEIDENHAIN-Winkelmessmodule den Aufbau hochgenauer Rundachsen. Denn als Einheit mit kompakten Abmessungen reduzieren sie den Einbau- und Abstimmungsaufwand deutlich. Montage, Justage und Abgleich aller Einzelkomponenten hat HEIDENHAIN bereits vorgenommen. So sparen Sie Zeit und Geld bei optimaler Messqualität.

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH 83292 Traunreut, Deutschland Tel. +49 8669 31-0 www.heidenhain.de

Winkelmessgeräte + Längenmessgeräte + Bahnsteuerungen + Positionsanzeigen + Messtaster + Drehgeber

Editorial

LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

Robotik – ein Wort, viele Assoziationen: Vom humanoiden Roboter, der Tee an das Bett bringt über staubsaugende kleine, selbstfahrende Maschinen bis hin zu menschlich anmutenden Roboterarmen oder der voll automatisch funktionierenden Produktionsstraße. Auf welchem Stand die Robotik derzeit ist und welche Teilbereiche an der Leibniz Universität erforscht und entwickelt werden, zeigt das neue Unimagazin. Faszinierend ist dabei die ungeheure Vielfalt dieser Forschungsrichtung, die sich auch in der Anzahl der beteiligten Institute widerspiegelt. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 14 Instituten der Fakultät für Maschinenbau sowie der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik präsentieren in 14 Beiträgen ihre Projekte. Dabei liegen Reiz und Herausforderung der Robotik und Automation gerade in dem interdisziplinären Zusammenspiel verschiedenster technischer Bereiche wie Mechanik, Elektronik, Informatik, Mess- und Sensortechnik, Bildverarbeitung sowie Antriebs-, Steuer- und Regelungstechnik.

Das Feld der Robotik umfasst die Entwicklung von Maschinen, die mit ihrer Umgebung interagieren und durch ihre der Natur nachempfundenen Art der Bewegung immer feinfühlicher und flexibler werden. Dadurch entstehen eine ganze Reihe neuer Einsatzmöglichkeiten.

So gibt es neue Endoskope, die flexibel und starr zugleich sind und in Medizin und Industrie eingesetzt werden können. Oder kleine Kontinuumsroboter, deren Aufbau sich am Elefantenrüssel orientiert. Weitere Projekte befassen sich mit mobilen Einsatzrobotern, die in Gefahrensituationen an Stelle des Menschen tätig werden können, mit autonomen Fahrsystemen, die ihre eigenen Karten erstellen sowie mit der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine. Der intelligente Roboter der Zukunft soll hören, fühlen und sehen können, damit sich die Interaktion von Mensch und Maschine verbessert. Welche Implikationen das auf die so genannte Mensch-Roboter-Kollaboration hat, beschreibt schließlich eine Juristin, die sich damit beschäftigt, vor welchen Herausforderungen das Recht in Bezug auf die Entwicklung der Robotik steht.



Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen

Prof. Dr. Volker Epping
Präsident der
Leibniz Universität Hannover

LEDERTASCHEN IN SCHLICHTEM DESIGN ALLROUNDER FÜR BUSINESS & FREIZEIT



jahn-lederwaren



Qualität muss nicht teuer sein! Besuchen Sie unseren Webshop:

www.jahn-lederwaren.de



Camera Nr. 8, August 1970, C. J. Bucher Verlag Luzern, Schweiz.
Titel: John Gossage, Kodak TRI-X

11. Dezember 2016 bis 19. März 2017

UND PLÖTZLICH DIESE WEITE

Werkstatt für Photographie 1976-1986



bis 15. Januar 2017

PRÄSENT: GERT & UWE TOBIAS Collagen im Dialog mit der Sammlung

Gefördert durch Deutsche Bank

26. November 2016 bis 5. Februar 2017

Sprengel-Preis für Bildende Kunst 2016 der Niedersächsischen Sparkassenstiftung

TOULU HASSANI. MINUS SOMETHING

Niedersächsische Sparkassenstiftung

SPRENGEL MUSEUM HANNOVER www.sprengel-museum.de



Weil langes statisches Sitzen krank macht!

3D High Tech Sitzsysteme mit patentierter Schwingtechnologie für deutlich weniger Rückenleiden.

www.bsj-gmbh.de

30 Jahre Partner der Uni Hannover



Robotik

VON MENSCH ZU MASCHINE

Unimagazin

Forschungsmagazin der Leibniz
Universität Hannover • ISSN 1616-4075

Herausgeber

Das Präsidium der Leibniz Universität
Hannover

Redaktion

Monika Wegener (Leitung),
Dr. Anette Schröder

Anschrift der Redaktion

Leibniz Universität Hannover
Alumnibüro
Welfengarten 1
D-30167 Hannover

Anzeigenverwaltung / Herstellung

ALPHA Informationsgesellschaft mbH
Finkenstr. 10
D-68623 Lampertheim
Telefon: 06206 939-0
Telefax: 06206 939-232
Internet: www.alphapublic.de

Verkaufsleitung

Peter Asel
Telefon: 06206 939-0
Telefax: 06206 939-221
E-Mail: peter.asel@alphapublic.de

Titelabbildung

Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik

Das Forschungsmagazin Unimagazin
erscheint zweimal im Jahr. Nachdruck
einzelner Artikel, auch auszugsweise,
nur mit Genehmigung der Redaktion.
Für den Inhalt der Beiträge sind die
jeweiligen Autoren verantwortlich.

- 4 **Roboterteam LUHbots der Leibniz Universität wieder erfolgreich**
Weltmeistertitel beim Robocup verteidigt

Viktor Hofmann | Andreas Tarnowsky | Mathias Rechel

*Institut für Dynamik und Schwingungen,
Institut für Mensch-Maschine-Kommunikation,
Institut für Mikroproduktionstechnik*

- 6 **At the Fingertip**
Wie Maschinen fühlen

Jörn Ostermann | Thomas Krause
Institut für Informationsverarbeitung

- 10 **Dem Geräusch auf der Spur**
Wie Roboter hören, wo etwas passiert

Stella Graßhof | Jörn Ostermann | Felix Kuhnke
Institut für Informationsverarbeitung

- 14 **Das Gesicht als Interface zwischen Mensch und Maschine**
Wie wir zukünftig mit Robotern kommunizieren

Christopher Schindlbeck | Christian Pape | Eduard Reithmeier
Institut für Mess- und Regelungstechnik

- 18 **Groß und dennoch hochpräzise**
Die Fertigung mikrooptischer Komponenten mittels Makro-Mikro-Manipulation

Lüder Alexander Kahrs | Dennis Kundrat | Jan-Hinnerk Borchard | Tobias Ortmaier
Institut für Mechatronische Systeme

- 22 **Der Roboter als Assistent am Operationstisch**
Robotische Instrumente für die trans-luminale und laparoskopische Chirurgie

Svenja Tappe | Jens Kotlarski | Tobias Ortmaier | Bernd Ponick
Institut für Mechatronische Systeme, Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik

- 26 **Flexibel und starr zugleich**
Eine elektromagnetisch bewegte Schlange für die Endoskopie

Kai Eggers | Jens Kotlarski | Tobias Ortmaier
Institut für Mechatronische Systeme

- 30 **Roboter auf Stromsparkurs**
Energieeffiziente Bewegungsplanung für Produktionsanlagen

Claus Brenner | Alexander Schlichting | Fabian Bock

Institut für Kartographie und Geoinformatik

- 34 **Dynamische Karten**
Gedächtnis mobiler Roboter

Sami Haddadin | Torsten Lilge
Institut für Regelungstechnik

- 38 **Sicherheit und Hilfe**
Vom interaktiven Roboterassistenten zur intelligenten Prothese

Gundula Runge | Pinar Boyraz | Annika Raatz

Institut für Montagetechnik, Mechatronik-Zentrum Hannover

- 42 **Soft Robotics**
Die »Weichen« für die Zukunft

Lars Bindszus | Ludger Overmeyer

Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

- 46 **Schnell und präzise erkennen und bewegen**
Handhabungsroboter für kognitive Materialflusssysteme

- 51 **Die Roboterfabrik**
Zielgerechte Ausbildung für die Generation »Robotic Natives«

Jessica Burgner-Kahrs | Josephine Granna | Vincent Modes | Ernar Amanov | Carolin Fellmann
Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik

- 52 **Die Natur als Vorbild**
Vom Elefantenrüssel zum kleinsten Kontinuumsroboter

Christian Wieghardt | Paul Fritsche | Sebastian Kleinschmidt | Björn Zeise | Bernardo Wagner
Institut für Systems Engineering

- 58 **Roboter im Einsatz**
Wenn es für den Menschen zu gefährlich wird

- 62 **Systematische Unterstützung für junge Gründungswillige**
Neues Tutorium am Mechatronik-Zentrum

Susanne Beck
Kriminalwissenschaftliches Institut

- 64 **Recht und Robotik**
Zur Fahrlässigkeitshaftung im Kontext der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

- 68 **Personalien und Preise**

Roboterteam LUHbots der Leibniz Universität wieder erfolgreich

WELTMEISTERTITEL BEIM ROBOCUP VERTEIDIGT

Die LUHbots, das RoboCup-Team der Leibniz Universität Hannover hat den 1. Platz in der @Work-Liga beim internationalen Robo-Cup 2016 in Leipzig belegt.

Am diesjährigen Roboterwettbewerb RoboCup nahmen über 3.500 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus insgesamt 45 Ländern in unterschiedlichen Ligen teil. Elf Studierende des interdisziplinären Teams der Leibniz Universität Hannover konnten den Weltmeistertitel in der Industrie-Liga (@Work) im eigenen Land erfolgreich verteidigen. Gegen die LUHbots traten acht Wettkampfgruppen aus Deutschland, Singapur, England, Italien und Slowenien an.

In Vorbereitung auf den Wettbewerb in Leipzig programmierten die LUHbots eine autonome Roboterplattform mit Roboterarm und Greifer für industrielle und logistische Anwendungen. Zu den Zielen gehörten das kollisionsfreie Navigieren innerhalb einer Wettkampfumgebung, das Greifen und Ablegen industrieller Werkstücke (Profile, Schrauben und Muttern) in passgenaue Aussparungen, Manipulation von Bauteilen von einem bewegten Förderband und einem rotierenden Tisch sowie die Montage von Reifen auf ein Automobilmodell. Viele Änderungen zum Vorjahr, wie beispielsweise unterschiedliche Auf- und Ablagehöhen, das Greifen bewegter Objekte und das Reagieren auf abgesperrte Bereiche, erschwerten allen Teams das Lösen der Aufgaben. Die Herausforderung liegt in der Verbindung von autonomer Navigation, digitaler Bildverarbeitung, Objekterkennung und Manipulation in einem globalen Plan zur Lösungsfindung.

Der Startschuss für das Team war die praxisorientierte Vorlesung RobotChallenge am Institut für Mechatronische Systeme an der Leibniz Universität Hannover im Jahr 2011. In der Challenge treten zwei studentische Teams gegeneinander an und müssen mit dem mobilen Roboter youBot der Firma KUKA verschiedene Aufgaben im Bereich der Robotik lösen. Im begleitenden Tutorium/Labor für mobile Robotik werden theoretische Ausbildung und Anwendung praxisnah verknüpft.



Der Teamleiter Torben Carstensen freut sich »über die hervorragende Leistung des gesamten Teams«. Jan Friederichs vom Mechatronik-Zentrum sieht die Gründe für die erneute Leistung des Teams auch in »der interdisziplinären Kooperation und der hohen Motivation der Studierenden neben dem Studium Wettkampferfahrungen zu sammeln«. Prof. Ortmaier, Leiter des Instituts für Mechatronische Systeme der Leibniz Universität, gratuliert zum erneuten Weltmeistertitel und hebt hervor, dass es den Studierenden gelungen ist, sich dauerhaft in der Spitzengruppe zu etablieren.

Der RoboCup ist eine internationale Initiative der RoboCup Federation mit dem Ziel, die Weiterentwicklung intelligenter Roboter

durch Wettbewerbe zu fördern. Die öffentlichen Veranstaltungen dienen Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftlern und Studierenden zugleich als publikumswirksames Testfeld, um die Fähigkeiten heutiger Roboter zu präsentieren.

Das ursprüngliche Ziel der 1997 etablierten RoboCup Federation war es, mit humanoiden Fußballrobotern bis zum Jahr 2050 gegen den dann amtierenden menschlichen Weltmeister gewinnen zu können. Inzwischen sind weitere Wettbewerbe hinzugekommen, in denen der Nutzen von Robotern unmittelbarer deutlich wird, beispielsweise als Serviceroboter im Haushalt, als Rettungsroboter in gefährlichen Umgebungen oder als unterstützende Roboter in der industriellen Fertigung, wie der @Work-Liga.

Weitere Informationen unter www.robocup.org und www.luhbots.de, www.mzh.uni-hannover.de.

Dr. J. Kotlarski, *Institut für Mechatronische Systeme*
Torben Carstensen, *Teamleader LUHbots*
Dipl.-Ing. J. Friederichs, *Mechatronik-Zentrum Hannover*

YASKAWA

TAKTGEBER

Es ist soweit. Die neue MOTOMAN GP-Serie kommt. Sie ist präzise wie ein Taktgeber und gibt ab jetzt auch den Takt in Sachen Geschwindigkeit vor. Beschleunigung, Achsgeschwindigkeit und Taktzeit wurden noch einmal gesteigert, während die Inbetriebnahmezeit reduziert wurde. Damit könnte der MOTOMAN GP7 und MOTOMAN GP8 jetzt beim „Grand-Prix“ der Roboter ins Rennen gehen oder einfach ganz schnell zu Ihnen. Dort wird er in Sachen Effizienz und Wirtschaftlichkeit ganz sicher auch den Takt angeben.



YASKAWA Europe GmbH · Robotics Division · robotics@yaskawa.eu.com · Telefon +49-81 66-90-0 · www.yaskawa.eu.com



Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e.V.

30519 Hannover
Eupener Straße 33
Tel: +49 511 84201-16
PR-DIK@DIKautschuk.de

DIK - Kompetenz in Kautschuk und Elastomeren

Das DIK bietet ein breites Forschungs- und Leistungsspektrum

- Werkstoffcharakterisierung
- Neue Materialien
- Werkstoffentwicklung
- Lebensdauervorhersage/Alterung
- Simulation
- Umweltaspekte
- „Leachables“ in Polymerwerkstoffen

Aus- und Weiterbildung



At the Fingertip

WIE MASCHINEN FÜHLEN

Nicht nur schauen und klicken,
sondern auch fühlen:

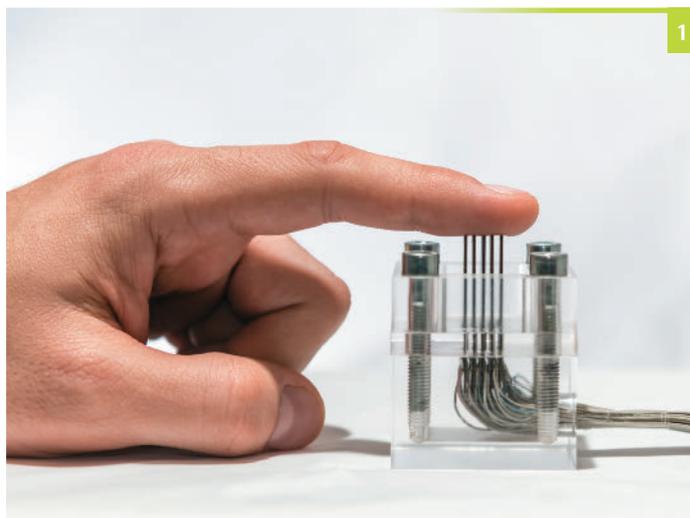
Mit der Entwicklung immer
leistungsfähigerer so genannter
taktiler Displays soll eine Viel-
zahl neuer Anwendungsgebiete
erschlossen werden.

Wissenschaftler vom
Institut für Mensch-Maschine-
Kommunikation, vom
Institut für Dynamik und
Schwingungen (IDS) sowie vom
Institut für Mikroproduktions-
technik (IMPT) berichten
aus ihrer Arbeitsgruppe über
das Forschungsprojekt
»Taktile Displays für Virtual
Reality-Applikationen«.

»Können Roboter eigentlich fühlen?«

Diese Frage lässt sich zumin-
dest für die sensorische Wahr-
nehmung beantworten. Mo-
derne Roboter verfügen mitt-
lerweile über eine Vielzahl
verschiedener Sensoren. Weit
verbreitet sind Kraftsensoren,
akustische Sensoren sowie
visuelle Systeme, zu denen
unter anderem optische Sen-
soren und Wärmebildkameras
gehören. Die Daten dieser
Sensoren können in vielfälti-
ger Weise, zum Beispiel mit
Hilfe eines Monitors und mit
Lautsprechern direkt ausgege-
ben werden. Neuere Entwick-
lungen erlauben sogar die
Kraftübertragung in Form
eines »Force-Feedback« bei der
Maschinensteuerung.

Für die Darstellung feiner
Oberflächenstrukturen, wie
wir sie tagtäglich mit unseren
Fingern wahrnehmen können,
fehlt derzeit jedoch ein ad-
äquates Ausgabegerät. So
genannte »taktile Displays«
könnten dieses Defizit in der
Schnittstelle zwischen Mensch
und Maschine beseitigen.
Durch die Einbindung dieses
zusätzlichen Wahrnehmungs-
kanals eröffnet sich eine Viel-
zahl von Anwendungsmög-
lichkeiten. Ein Einsatz in der
Medizintechnik oder bei der
Maschinensteuerung ist eben-
so vorstellbar wie die Unter-
stützung von Blinden. Darü-
ber hinaus entwickeln sich in
der Unterhaltungsindustrie,
im E-Commerce sowie bei



der virtuellen Prototypen-
entwicklung und beim virtu-
ellen Training völlig neue
Einsatzgebiete für taktile Dis-
plays.

Insbesondere im Bereich der
robotergestützten Medizin-
technik (»Telechirurgie«) er-
geben sich damit Vorteile. Ein
Chirurg oder eine Chirurgin
ist nicht nur auf ein gutes
Auge sondern auch auf feines
Fingerspitzengefühl angewie-
sen. Unterstützende taktile
Komponenten würden dem
Arzt oder der Ärztin erlauben,
intuitiver zu agieren und bei-
spielsweise schneller zwi-
schen tumorösem und gesun-
dem Gewebe zu differenzieren.
Auch eine mögliche
Verstärkung kaum wahr-
nehmbarer Strukturunter-
schiede könnte für den Be-
handlungserfolg ausschlag-
gebend sein.

Taktile Wahrnehmung

Die menschliche Haut ist be-
züglich einer Vielzahl von
Eindrücken empfindlich. So
sind innerhalb der einzelnen
Hautschichten verschiedene
Rezeptoren eingebettet, die
beispielsweise auf Druck,
Temperatur, Vibration oder
Schmerz reagieren und deren
Signale einen wesentlichen
Teil unserer Wahrnehmung
bestimmen.

Im Kontext taktiler Displays
sind insbesondere die druck-
und vibrationempfindlichen
Rezeptoren von Interesse, von
denen drei der Form- und Tex-
turwahrnehmung zugeschrie-
ben werden. Diese Rezeptoren
weisen Empfindlichkeiten
bezüglich unterschiedlicher
Frequenzbereiche auf. Wäh-
rend die *Merkel*-Zellen ins-
besondere statische Reize ko-

dieren und somit die grobe Textur einer Oberfläche erfassen können, sind die *Meissner-* und *Pacini-*Körperchen bezüglich der beim Überfahren der Oberfläche erzeugten Schwingungen empfindlich und tragen so zur Wahrnehmung feinerer Strukturen bei.

So genannte taktile Displays werden verwendet, um diese Eindrücke künstlich nachzubilden. Häufig werden die

Ein bimodales taktiles Display

Neben der Frequenzabhängigkeit sind bei der taktilen Wahrnehmung auch Richtungsabhängigkeiten bezüglich der Anregung feststellbar. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen und Oberflächeneindrücke gezielt nachbilden zu können, streben wir eine bimodale Anregung des Fingers an. Das heißt, jeder Pin kann

kombinierten Flächendisplays ist Inhalt der aktuellen, unter anderem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten, Forschungsaktivitäten. Die für den Betrieb des Displays notwendigen Spannungen werden dabei durch eine programmierbare Ansteuerungselektronik erzeugt, welche aus mehreren Mikroprozessoren besteht und verstärkte analoge Ausgangssignale generieren kann.

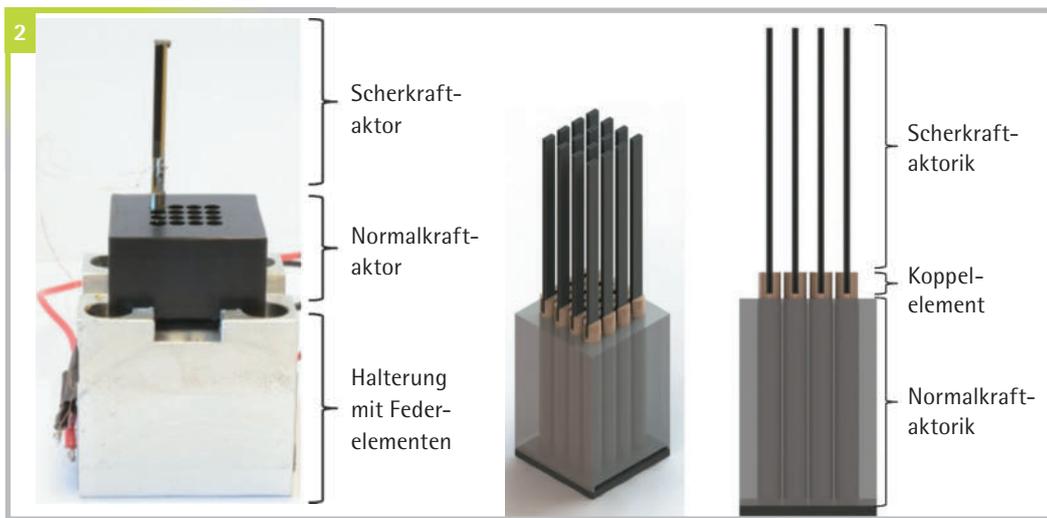


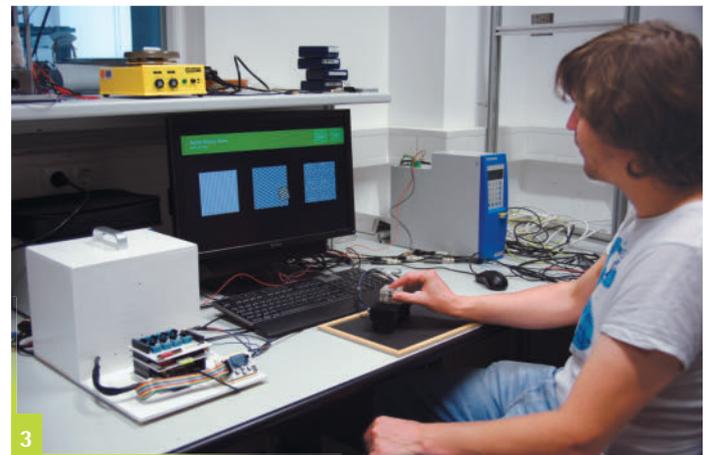
Abbildung 1
Prototyp eines taktilen Displays

Abbildung 2
Taktiles Display mit bimodaler Aktorik zur tangentialen und normalen Anregung der Haut

erforderlichen Vibrationen mechanisch erzeugt, indem mehrere Pins zum Beispiel auf die Fingerkuppe einwirken. Wir verfolgen ebenfalls solch einen vibrotaktilen Ansatz. Zwar ist es auch möglich, durch elektrische Impulse die Rezeptoren direkt zu reizen, die fehlende Selektivität eines elektrischen Signals macht ein gezieltes Ansprechen einzelner Rezeptoren jedoch sehr viel schwieriger. Damit ein mechanisches taktiles Display sämtliche Rezeptortypen ansprechen kann, muss dieses über eine hohe Frequenzbandbreite verfügen. Auch an die erforderlichen Auslenkungen der Pins und die zu erreichenden Kräfte werden hohe Anforderungen gestellt.

in zwei unabhängige Richtungen ausgelenkt werden, wodurch sowohl Normal- als auch Scherkräfte an der Haut erzeugen werden können. Bei diesem neuartigen bimodalen Ansatz wird ein Reluktanzaktor für die Normalkraftanregung im niedrigen Frequenzbereich (bis 220Hz) mit einem piezoelektrischen Biegeaktor für hohe Frequenzen (bis 1000Hz) gekoppelt. Für die Auslenkungen in Normalrichtung wurden mehreren 100µm angestrebt. Bei der lateralen Stimulation müssen Auslenkungen von mindestens 5µm erreicht werden.

Aktuell wurden bereits ein kombinierter Einzelaktor, ein Ein-Zeilen-Display mit kombinierter Aktorik und ein 5 x 5-Flächendisplay zu rein tangentialen Anregungen aufgebaut. Die Realisierung eines



Bereits jetzt steht ein voll funktionsfähiger Prototyp für die Evaluierung des Konzepts zur Verfügung. Dieser besteht neben dem taktilen Display aus der Ansteuerungselektronik und einer speziell entwickelten »taktilem Maus«. Mit dem System kann der Benut-

Abbildung 3
Aktueller Prototyp einer »taktilem Maus« im Einsatz; Die visuelle Unterstützung über einen Monitor ermöglicht es dem Anwender taktile Oberflächen noch natürlicher zu erkunden.

zer verschiedene Oberflächen virtuell erkunden.

Darstellung realer Oberflächen

Neben dem Aufbau des taktilen Displays bildet die eigentliche Ansteuerung der einzelnen Aktoren einen wesent-

direkte Darstellung mittels eines Displays durch mechanische Gegebenheiten begrenzt. Die aus unserer Sicht wesentliche Fragestellung besteht nunmehr darin, ein Vibrationsmuster zu finden, welches den Gefühlseindruck beim Überfahren der Oberfläche mit dem Finger auf dem ge-

tretenen Frequenzen werden dann gemäß den unterschiedlichen Sensitivitäten der Rezeptoren gewichtet und auf das taktile Display übertragen. Es konnte gezeigt werden, dass diese Herangehensweise bereits die Unterscheidung verschiedener Rauheitseindrücke ermöglicht [1].

Die bisher verfügbaren Ansätze zur Ansteuerung taktiler Displays sind jedoch zumeist auf relativ feine und periodische Oberflächenstrukturen beschränkt. Gerade im Hinblick auf medizinische Anwendungen ist es jedoch wünschenswert, auch spontan auftretende »Defekte« in der Oberfläche korrekt darstellen zu können. Ein weiterer Aspekt, der bislang nicht berücksichtigt wurde, ist die Interaktion des Fingers mit der Oberfläche. Beim Er tasten einer Oberfläche entstehen viele lokale und mit der Zeit variierende Deformationen der Haut, die einen Einfluss auf die Wahrnehmung haben können. So wurde bereits experimentell nachgewiesen, dass die Fingerrillen auf der Hautoberfläche die Entstehung bestimmter Frequenzen begünstigen [2] – dieser Aspekt wird in unserem Ansatz berücksichtigt.

Das von uns verfolgte Prinzip wird in *Abbildung 4* dargestellt: Ziel ist es, die beim Überfahren einer realen Oberfläche auftretenden neuronalen Reize mit Hilfe eines taktilen Displays bestmöglich nachzubilden, um eine im Idealfall äquivalente Wahrnehmung zu erreichen. Mit Hilfe Finiter Elemente Simulationen, die den Kontakt zwischen Finger und Oberfläche beziehungsweise Finger und einem virtuellen taktilen Display nachbilden, können wir eine komprimierte Darstellung einer Oberfläche gewinnen. Diese so genannte *taktile Karte* enthält eine diskretisierte und

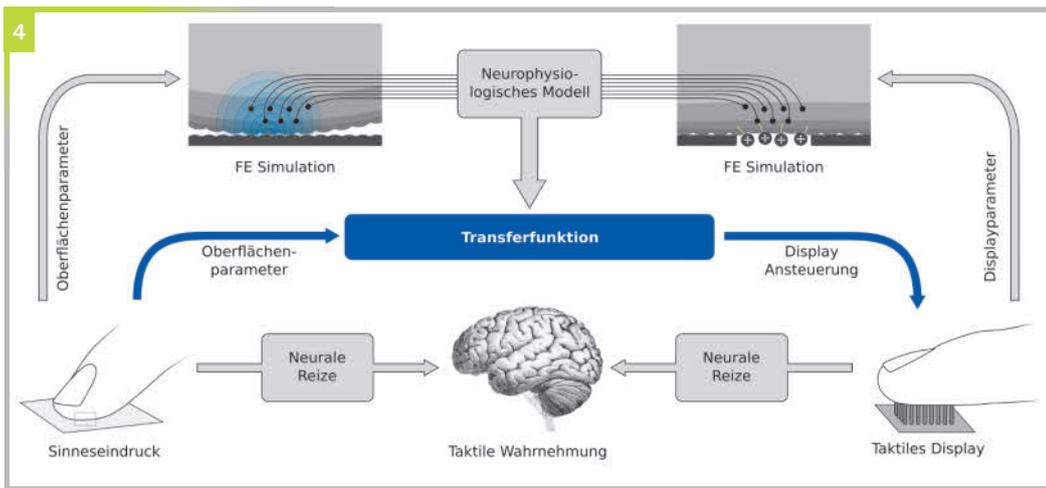


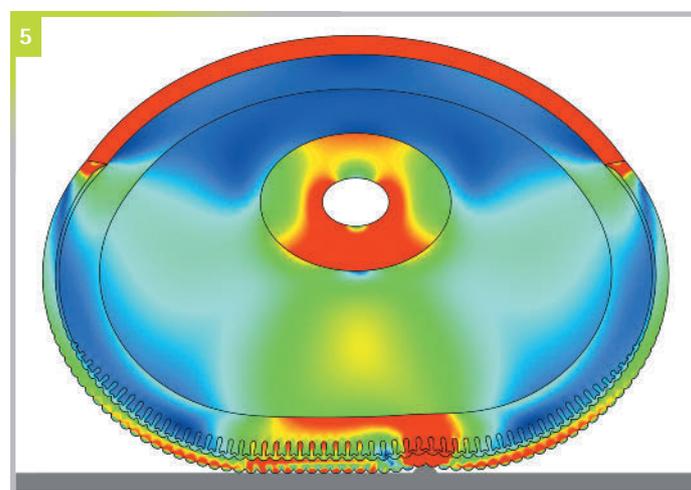
Abbildung 4
Übersicht über den verfolgten Modellansatz

lichen Bestandteil unserer Forschung. Der zunächst naheliegende Gedanke, das ursprüngliche Höhenprofil der darzustellenden Oberfläche geometrisch nachzubilden, erweist sich bei genauerer Betrachtung jedoch als kaum durchführbar. Während reale Oberflächen feine Details bis in den Bereich weniger Mikrometer aufweisen, wird die

gebenen taktilen Display bestmöglich wiedergibt.

Eine mögliche Herangehensweise zur Erzeugung derartiger Vibrationen wurde im vorangegangenen HAPTEX-Projekt entwickelt. Das Profil der darzustellenden Oberfläche wird hier zunächst analysiert, indem es in den Frequenzbereich überführt wird. Die auf-

Abbildung 5
Simulation des Kontakts zwischen Finger und Oberfläche

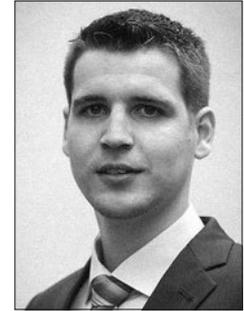




Dipl.-Ing. Viktor Hofmann
 Jahrgang 1984, ist seit 2016 Leiter der Arbeitsgruppe Vibro-Impact & Interfaces im Forschungsbereich Piezo- und Ultraschalltechnik am Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS). Seine Arbeitsschwerpunkte sind unter anderem Design und Aufbau piezoelektrischer Systeme sowie die Ansteuerung und Regelung piezoelektrischer Systeme. Kontakt: hofmann@ids.uni-hannover.de



Dipl.-Math. Andreas Tarnowsky
 Jahrgang 1986, ist seit 2013 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mensch-Maschine-Kommunikation Fachgebiet Graphische Datenverarbeitung (Welfenlab) im Forschungsbereich Taktile Displays & VR-Entwicklung. Seine Arbeitsschwerpunkte im Kontext des vorgestellten Projekts sind die Modellbildung und Simulation sowie die Benutzerschnittstellen und elektronische Ansteuerung. Kontakt: tarnowsky@gdv.uni-hannover.de



Dipl.-Ing. Mathias Rechel
 Jahrgang 1986, ist seit 2014 Leiter der Arbeitsgruppe Bio-medizinische Applikationen und Aufbau und Verbindungstechnik und seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT). Seine Arbeitsschwerpunkte sind unter anderem Design und Aufbau elektromagnetischer Miniaturantriebe. Kontakt: rechel@impt.uni-hannover.de

stark reduzierte Beschreibung der beim Überfahren der Oberfläche auftretenden Frequenz- und Amplitudenmuster. Diese kann zu einem späteren Zeitpunkt mittels einer *Transferfunktion* in eine für das taktile Display optimale Ansteuerung überführt und vom Benutzer interaktiv erkundet werden. Unser verwendetes zweidimensionales Modell der Fingerkuppe bildet auch feine anatomische Details ab, wie die verschiedenen Hautschichten und die Fingerrillen, und erlaubt eine genaue Analyse der an den Rezeptorpositionen auftretenden Schwingungsmustern. Anhand bekannter experimenteller Daten wurde zudem sichergestellt, dass das Deformationsverhalten dieses Modells mit dem einer realen Fingerkuppe vergleichbar ist.

Mit diesem Ansatz verfolgen wir das Ziel, grundlegende Erkenntnisse im Bezug auf die taktile Wahrnehmung zu erlangen, sowie bestehende Annahmen zu verifizieren. Durch die Berücksichtigung strukturmechanischer und neurophysiologischer Zusammenhänge ermöglichen wir es, auch mit prinzipiell begrenzten Mitteln zur Generierung mechanischer Reize eine große Vielfalt an taktilen Eindrücken zu erzeugen.

Ausblick

Taktile Displays – im Sinne der vibrotaktilen Reizerzeugung – haben bislang kaum Anwendung abseits der

Grundlagenforschung gefunden. Lediglich die bereits seit vielen Jahren verfügbaren Braille-Displays ermöglichen es blinden beziehungsweise sehbehinderten Menschen mit einem Computer zu interagieren.

Mit der Entwicklung immer leistungsfähigerer taktiler Displays eröffnet sich nun eine Vielzahl neuer Anwendungsgebiete. Nicht nur in der Robotik können taktile Displays zukünftig einem Arzt bei der Telechirurgie wichtige Eindrücke über den Zustand des Patienten vermitteln. Auch in der momentan aufstrebenden Virtual Reality (VR)- und Spieleindustrie hat unsere Forschung das Potenzial, die Immersion, das heißt das »Mittendrin«-Gefühl, zu verbessern: Bereits jetzt werden Gamecontroller mit »hapti-

schem Feedback« beworben – wobei sich dieses Feedback bislang lediglich auf einfache »Rüttel effekte« beschränkt. Die Einbindung subtiler taktiler Eindrücke in eine virtuelle Welt ist der nächste logische Schritt, von der ernsthafte VR-Anwendungen profitieren können.

Literatur

[1] Allerkamp, D., Böttcher, G., Wolter, F. E., Brady, A. C., Qu, J., & Summers, I. R. (2007). A vibrotactile approach to tactile rendering. *Visual Computer*, 23(2), 97–108. <http://doi.org/10.1007/s00371-006-0031-5>

[2] Scheibert, J., Leurent, S., Prevost, A., & Debregeas, G. (2009). The role of fingerprints in the coding of tactile information probed with a biomimetic sensor. *Science*, 323(5920), 1503–1506. <http://doi.org/10.1126/science.1166467>

Beteiligte Wissenschaftler

Die Autoren sind Teil der Arbeitsgruppe, die an dem durch die DFG geförderten Projekt »Taktile Displays für Virtual-Reality Applikationen« arbeitet. Weitere Mitglieder dieser interdisziplinären Arbeitsgruppe sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Studierende des Instituts für Mensch-Maschine-Kommunikation FG Graphische Datenverarbeitung (Welfenlab), dem Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS). Die Autoren danken insbesondere den folgenden Personen: Prof. Dr. Franz-Erich Wolter (Welfenlab), Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek (IDS), Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz (IMPT), Dr.-Ing. Jens Twiefel (IDS), Dipl.-Math. Daniel Brandes (Welfenlab).

Dem Geräusch auf der Spur

WIE ROBOTER HÖREN, WO ETWAS PASSIERT

Das menschliche Gehör ist ein Meisterwerk an Präzision. Diese Fähigkeiten auf einen Roboter zu übertragen, ist eine wissenschaftliche Herausforderung. Forscher vom Institut für Informationsverarbeitung stellen drei Methoden vor, mit denen der Roboter Geräusche lokalisieren können soll, um dem Sinneseindruck »Hören« näher zu kommen.

Das Ziel bei der Entwicklung von Robotern ist es, dass diese in irgendeiner Weise mit der Umwelt interagieren. Hierzu braucht der Roboter so etwas wie Sinneseindrücke. Das heißt, der Roboter soll beispielsweise sehen oder hören können. Um Robotern Sinneseindrücke zu verleihen, werden Sensoren benötigt, die Messwerte liefern. Mikrofone sind solche Sensoren und ein erster Baustein, damit Roboter hören können. Die Messwerte der Mikrofone sind allerdings ohne eine Interpretation nutzlos. Durch die digitale Aufnahme eines Geräusches entstehen zwar mehrere zehntausend Werte pro Sekunde an Daten zum Schalldruck – sie sind aber für den »hörenden« Roboter zunächst nicht zu gebrauchen. Eine nützliche Information müsste zum Beispiel darüber Auskunft geben, welches Geräusch aufgetreten oder an welchem Ort das Geräusch entstanden ist – erst dann können Entscheidungen getroffen oder sinnvolle Handlungen eingeleitet werden. Diese erwünschten Informationen sind in den Zahlenkolonnen der Messwerte bereits vorhanden, allerdings versteckt. Mit einer Verarbeitung der Signale können sie zum Vorschein gebracht werden. Eine solche Signalverarbeitung ist damit sehr wichtig, um einem Roboter das Hören beizubringen.

Der erste Schritt, bevor ein Geräusch lokalisiert werden

Lokalisation und Ortung

Lokalisation und Ortung sind zwei Begriffe, die fälschlicherweise oft synonym verwendet werden. Beide Begriffe beschreiben, wie die Position eines Objektes bestimmt wird. Der Unterschied liegt in dem Verfahren der Ortsbestimmung sowie darin, von welchen Objekten der Ort bestimmt werden kann.

Der Begriff **Ortung** wird verwendet, wenn der Beobachter oder die Beobachterin für das Ermitteln des Ortes eines Objekts aktiv Wellen sendet und gleichzeitig Wellen empfängt. Die ausgesendeten Wellen müssen dabei von dem Objekt reflektiert werden. Anhand dieser zurückkommenden Wellen wird die Position des Objekts ermittelt. Die Ortung funktioniert also nur, wenn das Objekt in geeigneter Weise die ausgesendeten Wellen reflektiert.

Der Begriff **Lokalisation** wird verwendet, wenn für das Ermitteln des Ortes eines Objekts der Beobachter oder die Beobachterin ankommende Wellen empfängt, aber zuvor keine Wellen aktiv gesendet hat. Wenn das Objekt selbst Wellen abstrahlt, werden diese vom Beobachter empfangen und mit diesen Informationen wird der Ort des Objekts bestimmt. Bei der Lokalisation kann also nur der Ort eines Objekts bestimmt werden, wenn von diesem Wellen ausgehen. Menschen lokalisieren mit ihren Augen und Ohren.

Dieser Artikel behandelt die Lokalisation mittels Schallwelle. Der gesonderte Themenkomplex der Ortung wird hier nicht betrachtet.

kann, ist das automatische Erkennen des Geräusches. Danach kann bestimmt werden, woher das Geräusch kommt. Dies ist für viele Aufgaben wichtig, zum Beispiel bei der Überwachung von Objekten auf Schäden. Hier ist die Lokalisation entscheidend, um den Schaden richtig einzuordnen. Das Institut für Informationsverarbeitung entwickelt erste Ansätze für die Lokalisation von Schäden an Rotorblättern von Windener-

gieanlagen mittels Luftschall. Dies geschieht im Rahmen eines Projekts zur Schadensfrüherkennung zusammen mit dem Institut für Statik und Dynamik und Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes, welcher das Projekt leitet. Ein Mensch mit zwei gesunden Ohren lokalisiert ständig Geräusche, beispielsweise ein hupendes Auto oder ein klingelndes Mobiltelefon. Roboter werden immer häufiger in einer für den Menschen ge-

schaffenem Umgebung eingesetzt, sollen mit Menschen interagieren und sich wie ein Mensch verhalten. Ein Roboter, der sich im Straßenverkehr autonom bewegt, sollte daher erkennen, woher Geräusche kommen. Auch ein humanoider, also menschenähnlicher Serviceroboter benötigt die Fähigkeit, zu lokalisieren. Wenn dem Roboter beispielsweise eine Frage aus einer Menschengruppe heraus ge-

die Lokalisation im dreidimensionalen Raum werden mindestens vier Mikrofone benötigt, um den Ort der Quelle zu bestimmen. Sind weniger Mikrofone vorhanden, kann der Entstehungsort lediglich eingegrenzt werden. In dem Kasten »Lokalisation mittels Laufzeitunterschieden« ist das Konzept veranschaulicht. Das Lokalisationskonzept funktioniert sehr gut, wenn es keine Nebengerä-

Mit dem Konzept **Beamforming** wird der Schall aus jeder Richtung einzeln betrachtet. Dazu wird ein Aufbau von vielen Mikrofonen verwendet, welcher Mikrofonarray genannt wird. Das Konzept der Signalverarbeitung ist hier, alle Mikrofonensignale in bestimmter Weise zu verzögern und zu überlagern. Beamforming wird häufig für so genannte akustische Kameras verwendet. Hier wird Schall in einem

Abbildung 1–6
Lokalisation mittels Laufzeitunterschieden: Die Lokalisation ist in der Realität eine Aufgabe, welche im dreidimensionalen Raum gelöst werden muss. Zur besseren Anschauung ist hier die Lokalisation in einer zweidimensionalen Ebene gezeigt.

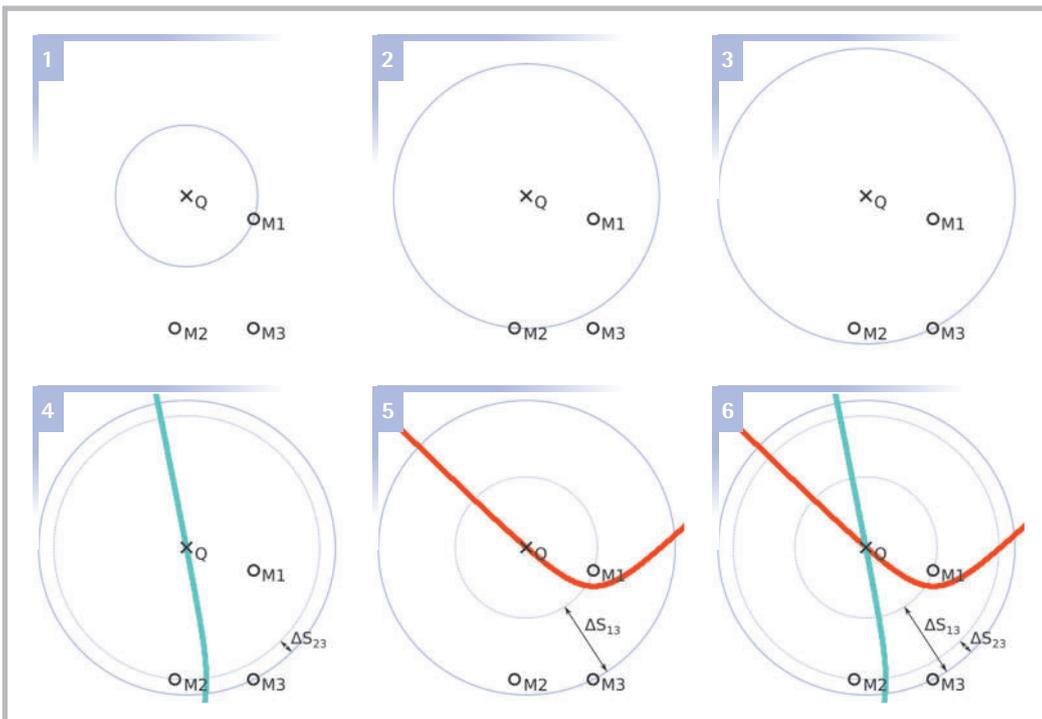


Abbildung 1
Die Welle, welche von der Quelle Q ausgesendet wurde, kommt zum Zeitpunkt Z_1 an dem Mikrofon M_1 an.

Abbildung 2
Zum Zeitpunkt Z_2 erreicht die Welle das Mikrofon M_2 .

Abbildung 3
An dem Mikrofon M_3 kommt die Welle zum Zeitpunkt Z_3 an.

Abbildung 4
Aus den Ankommenszeitpunkten Z_2 und Z_3 berechnet man die Streckendifferenz ΔS_{23} . Mit dieser Differenz lässt sich ein Hyperbelzweig (blau) berechnen, auf welchem die Quelle liegen muss.

Abbildung 5
Mit den Ankommenszeitpunkten Z_1 und Z_3 lässt sich die Streckendifferenz ΔS_{13} berechnen und damit ein zweiter Hyperbelzweig (rot) bestimmen. Auch auf dieser Kurve muss die Quelle liegen.

Abbildung 6
Der Schnittpunkt der beiden Hyperbelzweige ist das Ergebnis des Lokalisationsverfahrens. Anhand der Grafik ist zu sehen, dass die Position der Quelle richtig bestimmt wurde.

stellt wird, sollte der Roboter sich der richtigen Person zuwenden.

Es gibt drei wichtige Methoden, mit denen Geräusche lokalisiert werden können: Lokalisation mittels Laufzeitunterschieden, Beamforming sowie Lokalisation durch Pegelunterschiede. Für alle Verfahren werden mehrere Mikrofone benötigt. Das wichtigste Konzept ist die **Lokalisation mittels Laufzeitunterschieden**. Ein Laufzeitunterschied entsteht dadurch, dass die Schallwelle eine unterschiedliche Strecke zu den Mikrofonen zurücklegt. Für

sche und keine Reflexionen der Schallwellen gibt. Reflexionen und Nebengeräusche sind aber bei allen realen Einsatzbedingungen vorhanden und erschweren bei allen Verfahren die Lokalisation. Des Weiteren kann sich sowohl das Objekt als auch der Roboter bewegen. Auch dies muss beachtet werden und führt zu komplexeren Verfahren. Eine noch größere Herausforderung entsteht, wenn keine Sichtlinie zwischen dem Geräusch und dem Mikrofon besteht. Am Institut für Informationsverarbeitung wird unter anderem an Lösungen für diesen Fall geforscht.

Bildausschnitt zusammen mit dem optischen Bild dargestellt. So kann beispielsweise erkannt werden, an welcher Stelle ein Motor Lärm erzeugt. Im Gegensatz zu der Lokalisation mittels Laufzeitunterschieden können mit Hilfe des Beamformings nur die Richtungen, aus welchen der Schall auf das Mikrofonarray getroffen ist, bestimmt werden. Die Entfernung der Quelle ist so nicht zu ermitteln. Dafür ist der Vorteil des Beamformings das Handhaben von mehreren Quellen aus unterschiedlichen Richtungen, die zur gleichen Zeit Schall abstrahlen.



Prof. Dr.-Ing. Jörn Ostermann

Jahrgang 1962, ist seit 2003 Leiter des Instituts für Informationsverarbeitung. Seine Forschungsinteressen sind Audio- und Videosignalverarbeitung, Computer Vision, 3D Modellierung, Gesichtsanimation und Mensch-Maschine-Interaktion. Kontakt: ostermann@tnt.uni-hannover.de



Thomas Krause

Jahrgang 1985, ist seit 2013 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsverarbeitung. Seine Forschungsinteressen sind die Audio-Signalverarbeitung, Mustererkennung und Lokalisation und die automatisierte Zustandsüberwachung. Kontakt: krause@tnt.uni-hannover.de

hierbei die Eigenschaften der Ausbreitung von Schallwellen beachtet werden, um richtige Schlüsse zu ziehen. Dieser Mechanismus ist zum Beispiel für das Lokalisieren einer Schallquelle im Nahbereich nützlich, da etwa unterhalb eines Meters oft relevante Pegelunterschiede auftreten.

Ein Teilbereich der Robotik verfolgt das Ziel, Roboter zu erschaffen, welche so menschenähnlich wie möglich sind. Die menschliche Fähigkeit Geräusche zu lokalisieren, ist äußerst komplex – daher ist die menschliche Signalverarbeitung sehr schwer zu imitieren. Ein Mensch verfügt über lediglich zwei Trommelfelle, welche den Schall ähnlich wie zwei Mikrofone aufnehmen. Damit ist es mit nur einem Lokalisationskonzept nicht

Mensch eine beeindruckende räumliche Lokalisierungsschärfe auf. Ein wichtiger Effekt, den Menschen hierfür ausnutzen, basiert darauf, dass sehr viele Geräusche gleichzeitig unterschiedliche Tonhöhen enthalten. Durch die Form und Anordnung der beiden Ohren werden Geräusche, die von oben, von vorne oder jeder anderen Richtung kommen, verändert und zwar in Abhängigkeit der Tonhöhe. Bei einer festen Richtung ist die Veränderung immer gleich. Diese Information wird für die Lokalisation verwendet. Die Auswertung allein dieses einen Effekts ist schon sehr komplex und zeigt beeindruckend, wie gut der Mensch Signale verarbeitet. Eine ähnliche Lokalisationsgenauigkeit mit zwei Ohrsignalen künstlich zu erreichen ist noch in weiter Ferne und umfasst zahlreiche Herausforderungen für die Signalverarbeitung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Lokalisation von Geräuschen für Roboter ein wichtiger Teil des »Sinneseindrucks« Hören darstellt. Es gibt schon ausgereifte Lokalisationsverfahren, welche in bestimmten, meist einfachen oder klar beschränkten Einsatzbereichen sehr gut funktionieren. Für sehr viele Roboteranwendungen ist die Vielfalt der auftretenden Bedingungen aber riesig und es ergeben sich häufig Bedingungen, welche schwierig zu handhaben sind. Zudem können sich die Bedingungen bei mobilen Robotern auch noch schnell ändern. Die Lokalisation muss aber idealerweise in allen Szenarien robust funktionieren. Mit der Forschungsarbeit der Audiolokalisation werden Lösungen erdacht, welche die bisherigen Hürden überwinden. Diese Lösungen tragen dazu bei, zukünftige Robotergenerationen zu erschaffen, die besser hören und deshalb neue Aufgaben übernehmen können.

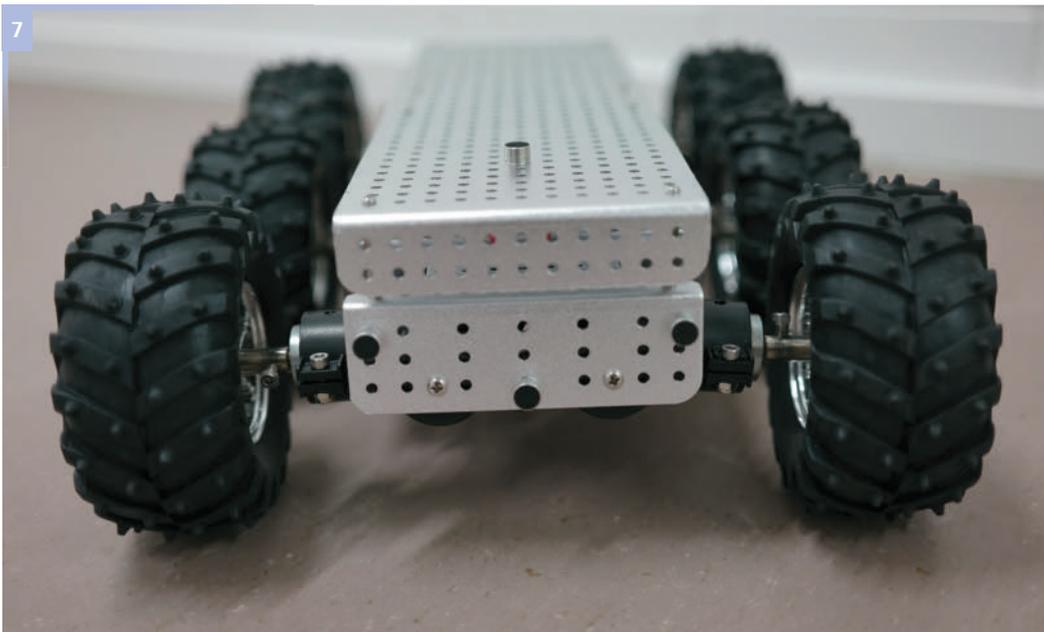


Abbildung 7
Roboterplattform mit drei Mikrofonsensoren an der Front und einer Kapsel auf dem Dach

Ein weiteres Verfahren ist die **Lokalisation mittels Pegelunterschieden**. Hier werden Schalldrücke, die von mehreren Mikrofonen aufgefangen werden, verglichen. Anhand dieser Daten wird der Ort der Schallquelle ermittelt. Dabei ist ein höherer Pegel ein Indiz für einen geringeren Abstand zur Quelle. Allerdings müssen

möglich, Geräusche räumlich zu lokalisieren. Dies kann anschaulich in dem Kasten »Lokalisation mittels Laufzeitunterschieden« nachvollzogen werden. Der Mensch verwendet daher viele unterschiedliche Lokalisationskonzepte gleichzeitig, um Geräusche räumlich zu lokalisieren. Für nur zwei Ohren weist der



Raum für Spitzenforschung

Luftfahrt Verkehr
Raumfahrt Sicherheit
Energie



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Starten Sie Ihre Mission beim DLR

Antworten finden auf brennende Zukunftsfragen: Das ist unsere Mission. Faszinierende Projekte, ein einzigartiges Forschungsumfeld und viel Raum für eigene Ideen – unser Angebot an Sie. Forschen Sie mit uns für die Welt von morgen!

Freiraum für Leistung.

NORD/LB
Die norddeutsche Art.



Jetzt starten. Nicht warten.
Traineeprogramm sichern.

Mit Hochschul-Partnerschaften schaffen wir Win-Win-Situationen für Studierende, Lehrstühle, Fachbereiche und die NORD/LB als attraktiven, fairen Arbeitgeber. Mehrwerte und Grundlagen für Karriere-Chancen in unserem Haus bieten z.B. Stipendienprogramme, Hochschul-Praktika, Kooperationen mit Bachelor-/Masterthesis,

Forschungsprojekte und NORD/LB Alumni. Nach Studienabschluss können **Trainee-Programme** die Möglichkeit eröffnen, erste Verantwortung in einem dynamischen, leistungsorientierten Berufsumfeld zu übernehmen. Weitere Infos und ausgeschriebene Stellen unter: www.nordlb.de/traineeship

Das Gesicht als Interface zwischen Mensch und Maschine

WIE WIR ZUKÜNFTIG MIT ROBOTERN KOMMUNIZIEREN

Der Roboter soll menschlicher werden: Dadurch soll einerseits die Akzeptanz der Maschinen verbessert, andererseits die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine gesteigert werden. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Institut für Informationsverarbeitung an der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik forschen daher an der automatischen Erstellung eines hochaufgelösten, vielseitig einsetzbaren 3D-Gesichtsmodells.

Die natürlichste Form der menschlichen Kommunikation erfolgt nicht nur über die Sprache, sondern auch durch nonverbale Kommunikation, basierend auf Körpergesten und Gesichtsmimik. Trotzdem besteht die heutige Mensch-Maschine-Kommunikation auf menschlicher Seite hauptsächlich aus Interaktion via Texteingaben, Mausinteraktion und Fingergesten. Aktuelle Fortschritte sind Technologien zur Interaktion via Spracherkennung und Sprachausgabe, zum Beispiel Apples Siri, oder Interaktion via Körperbewegungen, die beispielsweise durch 3D-Sensoren wie Microsoft Kinect aufgezeichnet werden können.

Während Sprache und Körpergesten bereits in einigen Bereichen als Eingabe verwendet werden, hat sich bisher keine Technologie etabliert, die das menschliche Gesicht als Ein- oder Ausgabe verwendet. Dabei wäre das Gesicht, als Gesamtkonzept aus Mimik und Sprache, eine Möglichkeit, um künstlich erdachte Bedienkonzepte abzuschaffen und die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine der zwischen Mensch und Mensch anzunähern.

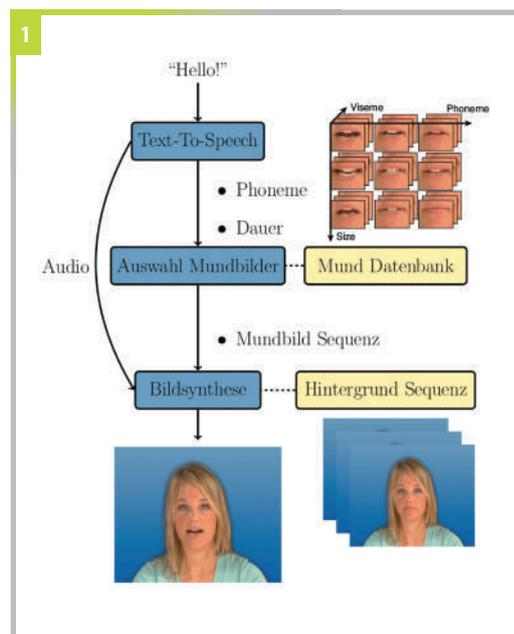
Eine solche Form der Interaktion ist besonders wichtig für die zukünftige Generation an Robotern, die direkt im menschlichen Umfeld eingesetzt werden und autonom mit dem Menschen kommuni-

zieren sollen. Zurzeit werden Roboter bereits als einfache Haushaltshilfe in unmittelbarer Nähe zum Menschen eingesetzt, beispielsweise zum Staubsaugen, Wischen oder Rasenmähen. In Zukunft werden Serviceroboter auch in Bereichen eingesetzt werden, die eine direkte soziale Interaktion mit dem Menschen und somit auch soziale Intelligenz des Roboters voraussetzen.

So genannte Personal Robots oder auch Social Robots werden bald Einzug in den modernen Haushalt finden, Aufgaben erledigen, überwachen und Prozesse nach den Wünschen ihrer Nutzer steuern. Bereits jetzt sind erste Formen solcher Roboter erhältlich oder vorbestellbar, beispielsweise Jibo und Personal Robot. Darüber hinaus ist der Einsatz sozialer Roboter in Bereichen der Pflege und Betreuung denkbar, um Personen mit Behinderung bei Aktivitäten des täglichen Lebens zu unterstützen und gleichzeitig Be-

treuungspersonal zu entlasten, zum Beispiel in der Altenpflege.

Ein wichtiger Schritt zu einer emotionalen und sozialen Intelligenz ist es, Robotern zu ermöglichen, die menschlichen Emotionen aus Sprache und Mimik zu verstehen und darauf in sinnvoller Weise zu reagieren. Ein synthetisches Gesicht, welches zum Ausdruck verschiedener Emotionen fähig ist, kann Roboter ein weiteres Stück menschlicher erscheinen lassen. Neben einer erweiterten Kommunikationsmöglichkeit steigert dies möglicherweise auch die Akzeptanz im menschlichen Umfeld sowie die Freude an der Nutzung solcher Roboter.



Das virtuelle Gesicht als Schnittstelle

An der Erstellung, Darstellung und Animation virtueller, also computergenerierter Gesichter wird bereits seit langem geforscht. Am Institut für Informationsverarbeitung beschäftigen wir uns mit virtuellen menschlichen Gesichtern, auch »Talking Heads« genannt. Unser Ziel ist es, eine personalisierte, realistische Gesichtsanimation vollkommen automatisch aus möglichst wenigen Eingangsdaten zu erzeugen.

Unser Talking Head Prototyp »Rebecca« wird als virtuelle Empfangsdame auf dem Bildschirm im Eingangsbereich des Instituts eingesetzt. Eine Demo-Version steht als Download auf unserer Website zur Verfügung. Rebecca kann beliebige Texte in audiovisueller Form präsentieren und hilft dem Benutzer durch die Menüs des Touchscreens zu navigieren.

Bei Rebecca handelt es sich um ein System, das auf einer Bilddatenbank basiert, wobei die Ausgabe durch eine Komposition von Bildern realisiert wird. Eine Übersicht zur Technik hinter dem System ist in *Abbildung 1* dargestellt. Der zu sprechende Text wird an einen Text-to-Speech (TTS) Server gesendet, der ein Tonsignal sowie zugehörige Lauteinheiten (Phoneme) und deren Dauer zur Verfügung stellt. Anschließend wird ein inverses Lippenlese-Problem gelöst, das heißt zu den jeweiligen Phonemen werden anhand eines Gütekriteriums plausible Mundbilder (Viseme) aus einer Mund-Datenbank ausgewählt und zu einer Mundbildsequenz zusammengesetzt. Diese wird dann auf das Gesicht der Hintergrundsequenz übertragen. Werden die Bild- und Tonsequenz synchron abgespielt, ergibt sich

eine realistische Gesichtsanimation. Der große Vorteil solcher Systeme ist, dass jedes Einzelbild eine echte Aufnahme des Sprechers zeigt, so dass neue Sequenzen effizient und realistisch zusammengesetzt werden können.

Das vorgestellte System hat den Nachteil, dass nur Bildsequenzen aus Bildern erzeugt werden können, die bereits Teil der Datenbank sind. Aus diesem Grund bestimmen die Größe der Mundbild-Datenbank und die enthaltenen Laute und Emotionen die Qualität und Diversität der Synthese.

Als Alternative werden Gesichtsmodele eingesetzt, die ein Gesicht durch kontinuierliche Parameter beschreiben und eine Synthese ermöglichen, die nicht auf eine feste Anzahl von Bildern beschränkt ist. Durch die Veränderung der Parameter kann ein neues Gesicht erzeugt werden. Gesichtsmodele bieten auch die Möglichkeit für ein vorhandenes Gesicht die Parameter zu schätzen, die es beschreiben und zur Identifikation sowie zur Erkennung von Emotionen und Mimik verwendet werden können.

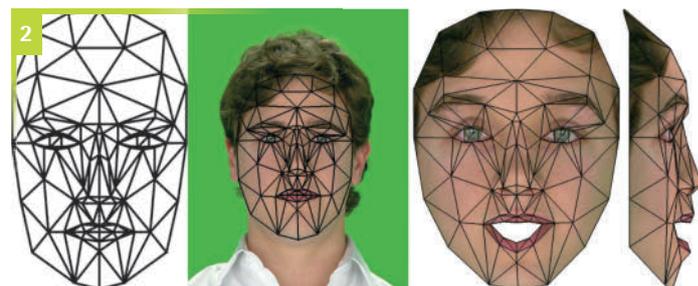
Ein Beispiel für ein kontinuierliches Modell ist Candide-3, wie in *Abbildung 2* dargestellt. Es besteht aus individuellen Shape-Parametern (zum Beispiel Augenabstand) und mimikbasierten Action-Parametern (zum Beispiel Augenbraue heben). Das Modell besteht aus 3D-Punkten, die durch Dreiecke verbunden sind und kann mit 14 Shape sowie 65 Action-Parametern individuell variiert werden.

Die Action-Parameter entsprechen dabei weitestgehend denen des Facial Action Coding System (FACS). Das FACS wurde 1978 von den Psychologen Ekman und Friesen definiert, um basierend auf den

Gesichtsmuskeln die Gesichtsmimik anhand von kleinsten Bewegungseinheiten (Action Units) zu beschreiben. Der zweite Teil der Parameter entstammt den Facial Animation Parametern (FAP) des MPEG-4 Standards.

Ein Problem des Modells besteht darin, dass verschiedene Parameter Einfluss auf dieselben Punkte nehmen und ähnliche Veränderungen herbeiführen können. Werden diese Parameter zur selben Zeit geschätzt, ergeben sich unsinnige Werte und teilweise entstellte Gesichter.

Wir haben einen Algorithmus entwickelt, der korrelierte Gesichts-Parameter schätzen kann, dabei die Form eines Gesichts bewahrt und gleich-



zeitig zu einer deutlich höheren Genauigkeit führt. *Abbildung 2* zeigt, wie das Modell an ein vorhandenes Bild angepasst wird und durch eine Veränderung der Parameter ein neuer Gesichtsausdruck entstehen kann.

Mit 113 Punkten bietet das Candide-3 nur eine grobe Vereinfachung eines Gesichts und eignet sich deshalb eher zur Analyse als zu einer realistisch wirkenden Synthese von Gesichtern.

Deutlich detailliertere, hochaufgelöste Modelle sind in der 3D-Computergrafik häufig verwendeten Blendshape-Modelle. Diese modellieren ein Gesicht aus einer Linear-

*Abbildung 1
Unser Talking Head Rebecca ist als Demo-Download auf unserer Webseite verfügbar und wird im Eingangsbereich unseres Instituts auf einem Touchscreen verwendet.*

*Abbildung 2
Von links nach rechts: Candide-3-Modell (von Ahlberg und anderen), Eingabebild einer Person mit adaptiertem Modell, 3D-Modell mit einem geänderten Gesichtsausdruck.*



Felix Kuhnke, M.Sc.

Jahrgang 1987, arbeitet seit 2015 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsverarbeitung. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Synthese visueller Sprache. Kontakt: kuhnke@tnt.uni-hannover.de



Stella Grabhof, M.Sc.

Jahrgang 1985, ist seit 2012 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Informationsverarbeitung. Ihre Forschungsschwerpunkte sind 2D/3D-Gesichtsmodelle, Schätzung von Gesichtsparametern und Registrierung. Kontakt: grasshof@tnt.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Jörn Ostermann

Jahrgang 1962, ist seit 2003 Leiter des Instituts für Informationsverarbeitung. Seine Forschungsinteressen sind Audio- und Videosignalverarbeitung, Computer Vision, 3D-Modellierung, Gesichtsanimation und Mensch-Maschine-Interaktion. Kontakt: ostermann@tnt.uni-hannover.de

kombination von Basisposen und bieten Anwenderinnen und Anwendern intuitive Interaktionen durch semantische Parameter. Die Modelle sind in der Regel kostenpflichtig und entstehen mit hohem manuellem Aufwand. Zudem besitzen diese Modelle nur Action-Parameter und sind somit auf eine Person festgelegt.

Die aktuelle Forschung beschäftigt sich daher mit der automatischen Erstellung eines hochaufgelösten, vielseitig einsetzbaren 3D-Gesichtsmodells, beispielsweise aus einer Datenbank von 3D-Gesichtern mit verschiedenen Personen und Gesichtsausdrücken.

Insbesondere die Anwendungen für visuelle Sprachsynthese sowie Transfer und Klassifikation von Gesichtsausdrücken sind dabei von Interesse.

Wo können Talking Heads eingesetzt werden?

Die Anwendungen für virtuelle Gesichter sind sehr viel-

fältig, zum Beispiel in Filmproduktionen und Videospielen. Im Folgenden werden zwei spezifische Anwendungsmöglichkeiten beschrieben.

Eine mögliche Anwendung für künstliche, sprechende Gesichter ist das visuelle Sprachverstehen. Schwerhörige und taube Personen kommunizieren oft durch Lippenlesen mit ihren Mitmenschen. Während ein traditionelles Telefonat für diese Menschen unmöglich ist, gibt es bereits Anwendungen, welche die Sprache in Text für den Gehörlosen übersetzen. Wir arbeiten daran, Sprache in eine realistische Gesichtsanimation zu übersetzen, die von so hoher Genauigkeit ist, dass sie das Lippenlesen für Schwerhörige und Gehörlose ermöglicht. Der große Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass nur der Ton übertragen werden muss und die Bilder des sprechenden Kopfes auf einem Empfangsgerät erzeugt werden. Zusätzlich nutzen auch Normalhörende Lippenlesen, um in Situationen mit vielen Hintergrundgeräuschen, zum Beispiel am Bahn-

hof, Sprache besser zu verstehen. In diesen Bereichen kann eine zusätzliche visuelle Sprachausgabe die Sprachverständlichkeit auch für Normalhörende erhöhen.

Für den Bereich E-Care können personalisierte sprechende Köpfe eingesetzt werden, um die Kommunikation mit Menschen, die an Demenz erkrankt sind, zu vereinfachen. Vertraute Gesichter, zum Beispiel eines Angehörigen, können sie daran erinnern, genug zu trinken oder ihre Medikamente zu nehmen, und so die Pflegekräfte unterstützen. In solchen Fällen könnten entsprechende Personal Robots auch die Zeit verlängern, bevor pflegebedürftige Menschen in einem Pflege- oder Altersheim untergebracht werden müssen oder Angehörige bei der Pflege unterstützen. Daher ist auch ein »Talking Head für jedermann« ein Ziel unserer aktuellen Forschung. Aus einer Aufnahme einer Person soll vollautomatisch ein personalisiertes Modell erstellt werden, welches beliebig animiert werden kann, um zum Beispiel als sprechender Kopf auf dem Display eines Roboters zu erscheinen.

Weitere Entwicklungen im Bereich der virtuellen Gesichter aber auch die Zukunft der Mensch-Roboter-Interaktion bleiben spannend. Mit unserer Arbeit wollen wir Maschinen soziale Interaktion und somit auch soziale Intelligenz ermöglichen. Wann, ob und wo zukünftige Roboter mit uns zusammen lachen werden und dies auch über ein virtuelles Gesicht kommunizieren, bleibt offen.

8 Semester garantiert sorgenfrei



* Gilt nur in den Filialen. Ab Kaufdatum erhalten Sie eine Händlergarantie von 48 Monaten kostenlos. Die gesetzlichen Gewährleistungsansprüche bleiben unberührt. Gültig für Neuware, die mit Vorlage des gültigen Studentenausweises erworben wird.

Conrad
Studenten-
garantie*
kostenlos



Filiale Hannover
Goseriede 3
30159 Hannover

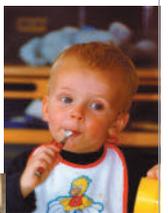
Öffnungszeiten:
Mo - Sa 10:00 Uhr - 19:30 Uhr

CONRAD

Deine Credits kriegst Du auch bei uns!

Bundesakademie für Kulturelle Bildung Wolfenbüttel | www.bundesakademie.de
Kooperation mit dem Studiengang Darstellendes Spiel

... damit Studieren in Hannover gelingt!



Service rund ums Studium

- Mensen und Cafeterien
- Wohnhäuser für Studierende
- BAföG und Studienfinanzierung
- Sozialberatung
- Internationales
- Kulturförderung
- Infos

Jägerstraße 5
30167 Hannover
(05 11) 76-88 022
info@studentenwerk-hannover.de

www.studentenwerk-hannover.de



Studentenwerk
Hannover

Groß und dennoch hochpräzise

DIE FERTIGUNG MIKROOPTISCHER KOMPONENTEN MITTELS MAKRO-MIKRO-MANIPULATION

Sowohl in der Industrie als auch in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens ist eine immer fortschreitende Miniaturisierung von elektrischen, optischen und mechanischen Systemen erkennbar. Wissenschaftler vom Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) arbeiten an einem Makro-Mikro-Manipulator, der eine Fertigung und Montage von Komponenten im mikroskopischen Bereich möglich macht.

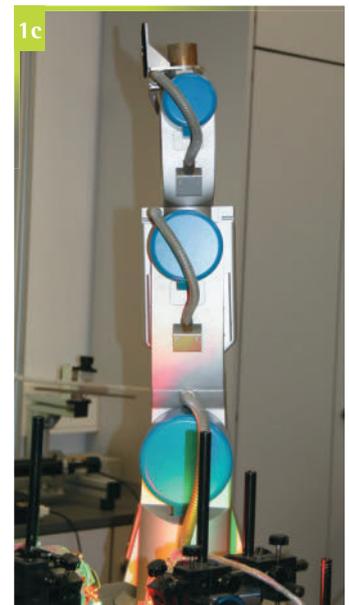


Als ein bekanntes Beispiel für eine fortschreitende Miniaturisierung sind Smartphones zu nennen. Die darin verbauten elektrischen und optischen Komponenten (wie etwa Prozessor und Kamera) werden stetig kleiner, um entweder die Geräte selbst zu verkleinern oder mehr Bauteile in einem Gehäuse unterzubringen. Durch diese zunehmende Miniaturisierung entstehen zwangsläufig eine Reihe an Herausforderungen in der Fertigung der dazugehörigen Komponenten und der anschließenden Endmontage. Industrielle Roboterarme, wie sie zum Beispiel heutzutage vermehrt in der Automobilindustrie eingesetzt werden, können die geforderte Präzision in der Fertigung von



solch mikroskopischen Bauteilen nicht mit ausreichender Güte gewährleisten. Obwohl es zwar prinzipiell möglich ist, solche Komponenten mittels Maschinen mit moderner Steuerungstechnik präzise zu fertigen, kann mit diesen wiederum eine automatisierte Serienproduktion nicht erfolgen, da jedes zu fertigende Bauteil einzeln von einer Fachkraft per Hand eingesetzt und nach der Bearbeitung aus der Maschine herausgeholt werden muss.

Um eine mögliche Lösung dieser Problematik zu schaffen, werden in der Industrie für die präzise Montage und Platzierung von Bauteilen in der Serienproduktion häufig Roboter eingesetzt, bei denen



mehrere nebeneinanderliegende Antriebe an eine gemeinsame Plattform montiert sind. Dieses Prinzip wird zum Beispiel bei Flugsimulatoren verwendet. Zwar kann mit dieser Struktur die Steifigkeit des Gesamtsystems erhöht werden und damit in Folge dessen Präzision und Wiederholgenauigkeit, gleichzeitig wird aber damit die Größe des Arbeitsraumes stark eingeschränkt. Um eine Abhilfe der bereits genannten Probleme zu schaffen, können Roboterarme durch eine Mikro-Positioniereinheit erweitert werden, woraus sich ein neues Gesamtsystem ergibt, welches aus zwei Subsystemen besteht: der so genannte Makro-Mikro-Manipulator. Der größere Roboterarm, die Makro-

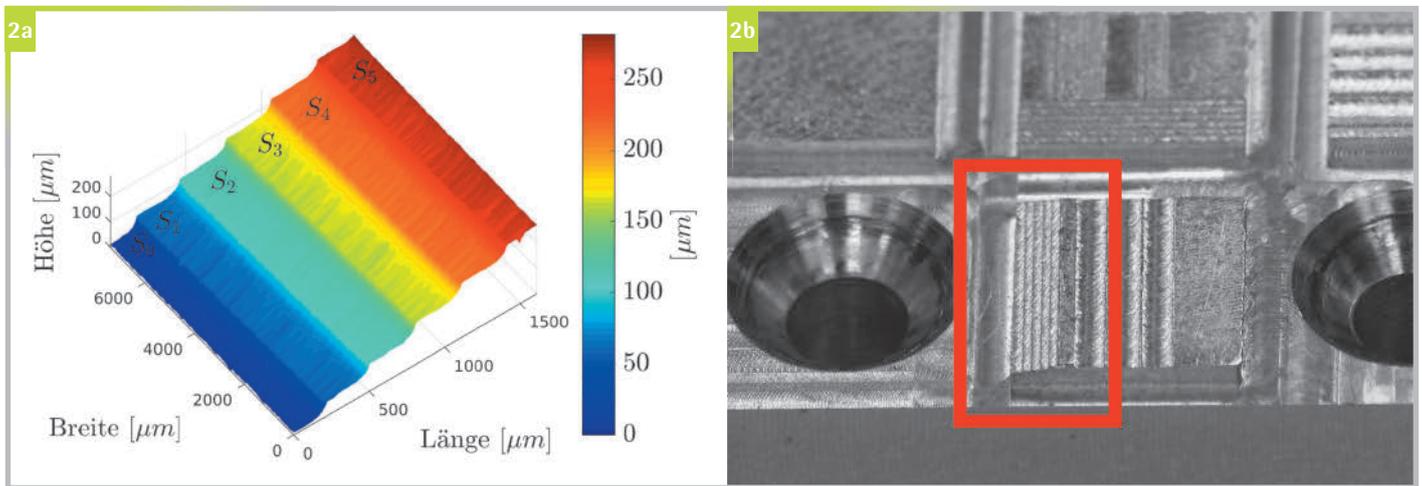
Positioniereinheit, ist dabei für die grobe Positionierung des Roboters im Raum verantwortlich, die kleinere Mikro-Positioniereinheit übernimmt wiederum die Rolle der Feinpositionierung. Somit ist es möglich, die Vorteile beider Systeme zu vereinen: Einerseits kann durch den Makro-Roboter die Traglast und der Arbeitsraum erhöht und andererseits durch den Mikro-Roboter eine hohe Präzision gewährleistet werden.

Die Grundidee der Makro-Mikro-Manipulatoren existiert

sitzen die Eigenschaft, sich bei Anlegen einer Spannung auszudehnen. Da diese Ausdehnung in einer nanoskopischen Größenordnung (das heißt Ausdehnungen um wenige Milliardstel Meter) liegt, werden mehrere dieser Piezokristalle hintereinander gestapelt und verklebt, so dass größere Auslenkungen möglich sind. Eine besondere Herausforderung für die Regelung dieser Piezokristalle stellt dabei deren komplexes Verhalten dar. Im Gegenzug zeichnen sich diese kleinen Kristalle aber wiederum durch hohe Kräfte

untersuchende Probe gestrahlt und das reflektierte Licht von einem Detektor eingefangen. Dabei wird ein Teil des Lichts von dem Material absorbiert. Somit können Rückschlüsse auf die Materialzusammensetzung der Probe gezogen werden, ohne dabei die Probe zu zerstören oder in sie eindringen zu müssen. Zum Beispiel könnten Diabetiker in baldiger Zukunft ihre Glukosekonzentration messen, ohne sich dabei in den Finger stechen zu müssen. Allerdings sind die bisherigen Laborspektrometer meistens zu

Abbildung 1a, 1b, 1c
Die Aufnahmen zeigen drei Roboter (KUKA Agilus, Stäubli TX90 und Bodensee Gerätetechnik μ KROS-316), die am Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) zur Verfügung stehen und welche als Makro-Positioniereinheit verwendet werden können. Foto: Institut für Mess- und Regelungstechnik



bereits seit den 1980er Jahren – seitdem wird an diesen Systemen geforscht. Das Anwendungsgebiet von Makro-Mikro-Manipulatoren deckt ein weites Feld ab, von der Fertigung und Montage bis hin zur Medizintechnik. Am Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) stehen drei Roboter (KUKA Agilus, Stäubli TX90 und Bodensee Gerätetechnik KROS-316, siehe *Abbildung 1*) zur Verfügung, welche als Makro-Positioniereinheit verwendet werden können. Als Mikro-Positioniereinheit wird am IMR ein Miniaturroboter verwendet, der sich in alle drei Raumachsen bewegen kann und dessen Auslenkung mittels sogenannter Piezokristalle erfolgt. Diese Materialien be-

und schnelle Reaktionszeiten aus. Außerdem ist eine Auflösung im nanoskopischen Bereich erreichbar, welche bei Motoren unter anderem durch die auftretende Reibung und Trägheit nicht ohne weiteres möglich ist. Daher werden diese Kristalle oft für Systeme verwendet, bei denen nur kleine Auslenkungen eine Rolle spielen.

Ein Schwerpunkt des IMR liegt unter anderem im Einsatz optischer Systeme für die Messtechnik. In diesem Zug ist auch das Fourierspektrometer zu nennen, welches in vielen Bereichen Anwendung findet, wie zum Beispiel beim Messen von Oberflächen und in der Medizin. Bei diesem Gerät wird Licht auf eine zu

groß und zu schwer, um sie außerhalb des Labors zu verwenden.

Um letztendlich handlichere Geräte zu fertigen, die sich zum Beispiel als Armband tragen lassen, müssen die bisher verwendeten Komponenten stark verkleinert werden. In konventionellen Geräten befindet sich unter anderem ein beweglicher Spiegel. Anstatt nun einen beweglichen Spiegel zu verwenden, kann alternativ ein miniaturisierter Stufenspiegel eingesetzt werden, woraus sich hauptsächlich zwei Vorteile ergeben. Einerseits entfällt ein sich bewegender Spiegel, was sowohl laufende Kosten als auch Instandhaltungskosten einspart und auf der anderen Seite

Abbildung 2a, 2b
Hier ist die Aufnahme eines gefrästen Miniaturspiegels mittels eines Lasermikroskops (links) und mittels einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera (rechts) zu sehen. Foto: Institut für Mess- und Regelungstechnik



Christopher Schindlbeck

Jahrgang 1985, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mess- und Regelungstechnik. Seine Forschungsinteressen liegen hauptsächlich in der Regelungstechnik, Robotik, Optik und dem maschinellen Lernen. Kontakt: christopher.schindlbeck@imr.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Christian Pape

Jahrgang 1978, ist seit 2011 Arbeitsgruppenleiter für Regelungstechnik und Akustik am Institut für Mess- und Regelungstechnik. Seine Forschungsinteressen liegen hauptsächlich in der bildrückgeführten Regelung und der aktiven Schallkompensation. Kontakt: christian.pape@imr.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Eduard Reithmeier

Jahrgang 1957, ist seit 1996 Direktor des Instituts für Mess- und Regelungstechnik. Davor war er technischer Direktor für die Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH. Seine aktuellen Forschungsinteressen liegen in der Regelungstechnik, Biomedizintechnik, Fertigungs-, Oberflächen- und optischen Messtechnik. Kontakt: sekretariat@imr.uni-hannover.de

kann der Grad der Miniaturisierung erhöht werden, indem die Stufen des Spiegels entsprechend klein gewählt werden. Bisher ist eine industrielle Serienfertigung eines solchen Miniaturspiegels nicht möglich. Zwar konnte zum Beispiel die Firma Kugler GmbH einen solchen Miniaturspiegel anfertigen, die Maschine allerdings kostet zwischen einer halben und einer Million Euro. Des Weiteren ist eine kostspielige Klimakammer von Nöten, welche unter kontrollierten Bedingungen die geforderte Präzision gewährleisten kann. Am IMR wurde sich das Prinzip der Makro-Mikro-Manipulation zu Nutze gemacht, um zu zeigen, dass es in der Tat möglich ist, eine präzise Manipulation im Mikrometerbereich mittels gewöhnlicher Industrieroboter zu erreichen. Als beispielhafte Anwendung kann der miniaturisierte Stufenspiegel genommen werden. Dafür wird der Makro-Mikro-Manipulator zusätzlich um ein Kamerasystem erweitert, so dass eine bildrückgeführte

Regelung ermöglicht wird. Zusätzlich werden kleine weiße Kügelchen am Roboter als Marker befestigt und mit schwarzem Stoff hinterlegt, so dass sich damit ein hoher Kontrast ergibt. Das Kamerasystem besteht aus zwei schwarz-weiß Hochgeschwindigkeitskameras mit speziellen Objektiven, woraus sich zweierlei Vorteile ergeben: Einerseits erlaubt die hohe Bildfrequenz der Kameras eine genaue Positionsregelung und andererseits ergibt sich mittels der Objektive ein größerer Schärfentiefenbereich. Zusätzlich wird am Miniaturroboter ein Fräser angebracht, der den miniaturisierten Stufenspiegel aus einem Aluminiumblock fräst. Die Regelung ist nun so ausgelegt, dass der Makro-Roboter eine vorgegebene Bahnkurve abfährt, während gleichzeitig Abweichungen über das Kamerasystem detektiert und diese durch den Miniaturroboter ausgeglichen werden. *Abbildung 2* zeigt die Aufnahme eines solch gefrästen Miniaturspiegels mittels

eines Lasermikroskops (links) und mittels einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera (rechts). Darin ist erkennbar, dass eine vorgegebene Stufenhöhe von 50 Mikrometer (das heißt 50 millionstel Meter) und eine Stufenbreite von 250 Mikrometer erreicht werden konnte.

Somit wurde am IMR erfolgreich gezeigt, dass durch den Einsatz eines Makro-Mikro-Manipulators eine Fertigung von Komponenten im mikroskopischen Bereich möglich ist, während gleichzeitig der inhärente Konflikt des Arbeitsraumes, der Präzision und der Tragfähigkeit gelöst wird. Insbesondere für die Fertigung von optischen Mikrosystemen, bei denen die Anforderungen an die Miniaturisierung und Kostenreduzierung stetig steigen, versprechen solche Systeme daher ein großes Potenzial für die Zukunft.



Labor
Herman Nzalli

Fertigung
Jana Kallmeyer

Entwicklung
Viktor Bauer

WE INNOVATE! DAMIT SICH ERFINDERGEIST UNBEGRENZT AUSBREITEN KANN.

Hochmoderne Technologien, richtungsweisende Lösungen und internationale Präsenz – dafür steht WAGO. Und für mehr als 7.200 ambitionierte Menschen weltweit, die Innovation zu ihrer Passion gemacht haben und gemeinsam exzellente Arbeit leisten. Als einer der führenden Anbieter von elektrischer Verbindungs- und Automatisierungstechnik bieten wir Ihnen individuelle Entwicklungschancen in einem familiären Umfeld.



Finden Sie in unserem Stellenportal den Job, der zu Ihnen passt.

www.wago.com/karriere



Ausgezeichneter Arbeitgeber
www.tuv.com
ID 9108622832



Der Roboter als Assistent am Operationstisch

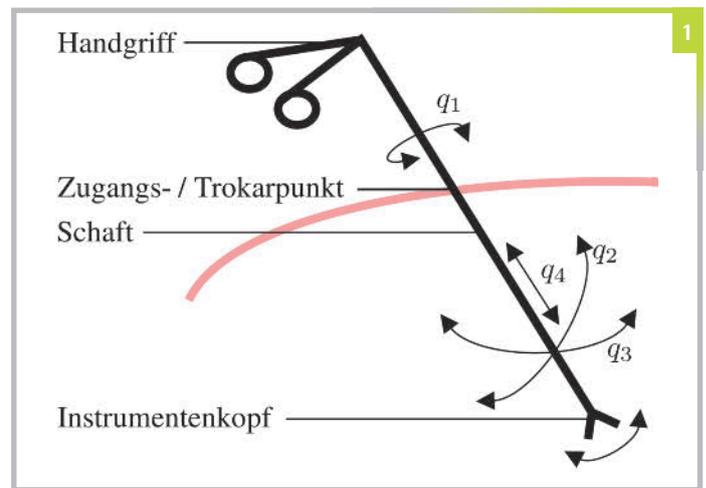
ROBOTISCHE INSTRUMENTE FÜR

DIE TRANSLUMINALE UND LAPAROSKOPISCHE CHIRURGIE

Minimalinvasive Eingriffe haben viele Vorteile: Kleinere Narben, geringerer Blutverlust, schnellere Heilung. Doch gleichzeitig ist der Chirurg durch die kleinen Instrumente in der Bewegung eingeschränkt. Wissenschaftler am Institut für mechatronische Systeme wollen daher die Handhabung und Manipulierbarkeit der Instrumente durch robotische Assistenzsysteme verbessern.

Mechatronische Assistenzsysteme finden zunehmend im Operationssaal Einzug. Besonders bei Eingriffen mit keinen oder kleinen Narben (so genannte minimalinvasive Chirurgie, Schlüssellochchirurgie oder auch Operation durch natürliche Körperöffnungen) ergibt sich der Bedarf, manuell geführt Instrumente weiterzuentwickeln, um den Chirurgen Fähigkeiten zurückzugeben, die beim Übergang von der offenen zur minimalinvasiven Chirurgie verloren gehen. Es handelt sich hierbei zumeist um Endoskope, mit denen die chirurgische Szene beobachtet wird, sowie um miniaturisierte Greif- und Schneidwerkzeuge, die bei robotischer Umsetzung auch Assistenzfunktionen wie beispielsweise Filterung des Tremors (Zitterbewegung des Chirurgen) ermöglichen. Zwei Beispiele für Operationen, bei denen derartige Instrumente benötigt werden, sind die endoskopische, transorale Chirurgie an den Stimmlippen sowie die Single-Port-Laparoskopie im Bauchraum.

Durch positive Studienergebnisse beispielsweise bezüglich des begünstigten und kürzeren postoperativen Heilungsverlaufes sowie dem geringeren Blutverlust hat sich die laparoskopische Chirurgie des Bauchraumes inzwischen im klinischen Alltag etabliert. Bei einer Vielzahl von Standard-Eingriffen werden mehrere kleine Schnitte mit einer Län-

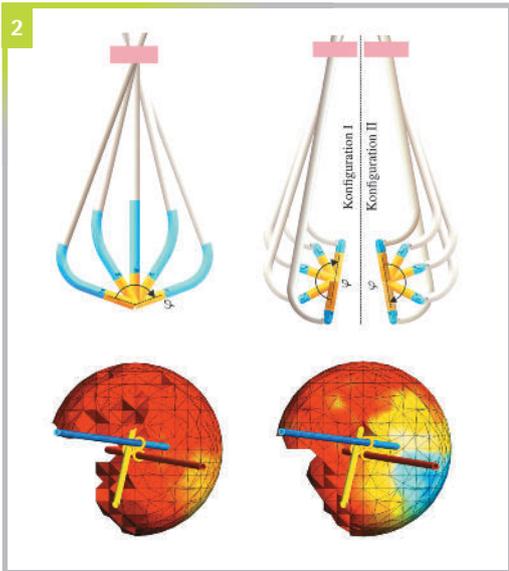


ge von circa 1 cm in der Bauchdecke gesetzt. Als Zugangssystem werden anschließend so genannte Trokare zur Instrumentenführung durch die Einschnitte in die Bauchhöhle eingeführt und der Bauchraum danach mit CO_2 -Gas insuffliert, um den verfügbaren Arbeitsraum zu vergrößern. Die Sicht auf das Operationsgebiet in der Bauchhöhle wird dabei mittels starrem Endoskop (Laparoskop) hergestellt. Die Manipulation des Zielgewebes wird mit für die Laparoskopie angepassten Instrumenten (siehe *Abbildung 1*) vorgenommen. Eine weiterführende Zugangstechnik ist die Single-Port-Laparoskopie, bei der die Bildgebung und Instrumentierung über einen einzigen gemeinsamen Trokar im Bauchnabel in die Bauchhöhle eingeführt werden. Dies minimiert die Anzahl der erforderlichen

Schnitte und reduziert die Bildung beziehungsweise Sichtbarkeit der Narbe. Diesen Vorteilen stehen bislang die Nachteile einer deutlichen Einschränkung der Bewegungsmöglichkeiten der eingeführten Instrumente gegenüber, die aus dem geringen Abstand der Schäfte und deren Kollisionen resultieren. Analog dazu ist auch der Bewegungsraum der Instrumentengriffe außerhalb des Körpers der Patientin oder des Patienten ebenfalls stark limitiert und die Koordination der Hände des Operateurs erschwert.

An diesem Punkt setzen die Forschungsarbeiten des Instituts für Mechatronische Systeme (*imes*) an, indem die Handhabung und Manipulierbarkeit der Instrumente durch ein robotisches Assistenzsystem verbessert werden. Konkret

Abbildung 1
Die Bewegungsmöglichkeiten eines laparoskopischen Instruments mit Trokar werden innerhalb des Körpers auf die Freiheitsgrade q_1 – q_4 eingeschränkt.



wird dabei die Anzahl der Bewegungsfreiheitsgrade des Instruments innerhalb der Bauchhöhle erhöht oder die Konstruktion spezifisch auf die Anatomie beziehungsweise daraus abgeleitete Arbeitsräume angepasst. In diesem Zusammenhang wurde eine Simulationsumgebung zur Analyse robotischer Assistenzsysteme für die Laparoskopie entwickelt. Mit den implementierten Methoden wird das Ziel verfolgt, eine Aussage über die Güte der kinematischen Struktur eines neu konzipierten Systems im Vergleich zu bestehenden Systemen zu treffen. Bewertungsgrundlage ist dabei die Erreichbarkeit von Positionen und Orientierungen (so genannten Posen) der Instrumentenspitze innerhalb eines vorgegebenen Arbeitsraumes. Dafür wird die Anzahl an erreichbaren Posen bei Berücksichtigung von Instrumentenkollisionen innerhalb eines Volumens untersucht und die Struktur hinsichtlich der resultierenden Kennzahlen optimiert. *Abbildung 2* zeigt exemplarisch die Darstellung der erzielbaren Orientierungen für zwei konstruktive Varianten. Dabei wird zum einen ein Instrumentenkopf mit zwei Freiheitsgraden

und einem aktiv biegbaren Schaftsegment betrachtet, wohingegen die zweite Variante ein starres gekrümmtes Schaftsegment vorsieht. Die Simulationsergebnisse zeigten, dass die konstruktive Variation signifikant den erreichbaren Arbeitsraum der Instrumente beeinflusst.

Auf Basis dieser Studien und aufbauend auf den Stand der Technik wurde ein Greifinstrument für die roboterassistierte Single-Port-Laparoskopie entwickelt. *Abbildung 3* stellt das Konzept auf Basis von drei Knickarm-Robotern vor. Die Instrumente werden dabei von den seriellen Robotern mit der Randbedingung des Trokars geführt und konstruktiv entsprechend der zuvor beschriebenen Simula-

tionsergebnisse ausgelegt. Darüber hinaus wurde ein optimiertes Greifinstrument mit einer minimierten Anzahl an Komponenten und einem neuartigen Konzept zur Führung der Betätigungsseile unter Verwendung von Gleitflächen entwickelt und gefertigt (siehe *Abbildung 4*). In diesem Zusammenhang wurden weitere Studien zur optimalen Werkstoffpaarung von Betätigungsseil und Gleitfläche durchgeführt, die Verschleiß

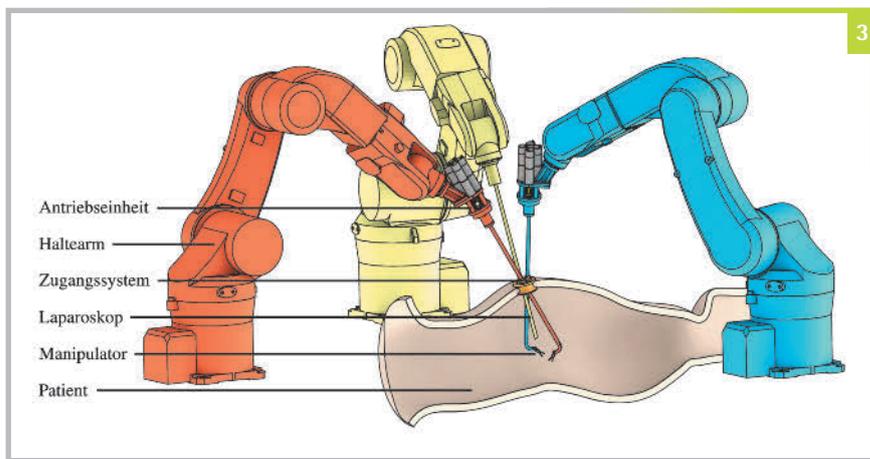


Abbildung 2 Vergleich der Erreichbarkeiten im Bauchraum mit biegbarem Schaft (blau, links oben) sowie starrem, gekrümmtem Schaft und einem Gelenk (blau, rechts oben). Die Anzahl erzielbarer Orientierungen bei drei Instrumenten ist darunter farbkodiert dargestellt (rot – wenige, blau – viele).

Abbildung 3 Roboterassistierte Single-Port-Laparoskopie mit drei kooperierenden Instrumenten.

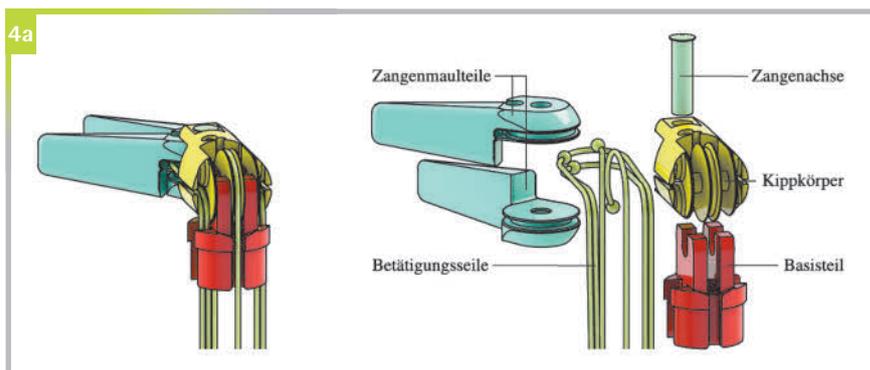


Abbildung 4 Instrumentenspitze mit einer minimalen Anzahl an Bauteilen und einem Durchmesser von 8 mm.

Abbildungsquellen: Hinnerk Borchard

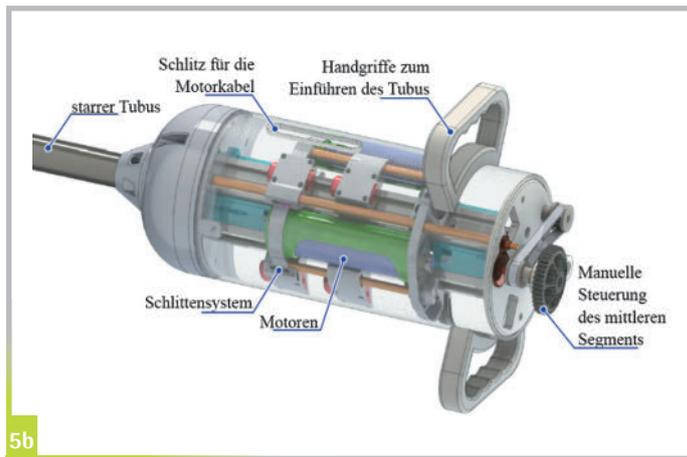


Abbildung 5
Aktuierungseinheit eines robotischen Endoskops für die Stimm lippenchirurgie
Quelle: Andreas Schoob (5a), Dennis Kundrat (5b)

und Hysteresse-Effekte minimieren sollen. Zusammenfassend konnten in diesem Forschungsbereich Methoden zur quantitativen Analyse von robotischen Laparoskopie-Systemen entwickelt und evaluiert werden, die beispielsweise zur Bewertung innovativer konstruktiver Ansätze eingesetzt werden können. Auf Basis dieser Untersuchungen konnte anschließend ein neuartiges Instrumentendesign konzipiert und gefertigt werden.

Der Forschungszweig der transluminalen robotischen Instrumente wird am Institut für Mechatronische Systeme durch die Arbeiten im Bereich der Stimm lippenchirurgie und -diagnose vorangetrieben. Die Stimm lippen sind anatomisch im Kehlkopf (Larynx) lokalisiert, sodass es sich konkreter um die Instrumentenentwicklung für neue endoskopische transorale Eingriffe handelt. Karzinome des Larynx sind die zweithäufigste Erkrankung des Aero-

digestivtraktes und beeinflussen Schlucken, Atmung und die Stimm bildung maßgeblich. Nach Ausschluss konservativer Behandlung wird aktuell häufig eine Behandlung mittels so genannter Laserphonomikrochirurgie vorgenommen. Dabei wird der Patient anästhesiert und in überstreckter Lage auf dem OP-Tisch gelagert. Anschließend erfolgt die so genannte Laryngoskopie, also die Etablierung einer direkten Sichtlinie auf die Strukturen des Kehlkopfes mittels rohrförmigem Instrument. Um Blutungen während der OP zu mindern, wird für die Entfernung des pathologischen Gewebes bevorzugt ein in das OP-Mikroskop eingekoppeltes Lasersystem verwendet. Dabei wird der Laserstrahl vom Operateur manuell auf dem Gewebe positioniert. Dies erfordert eine hohe Geschicklichkeit des Operateurs auf Basis eines erhöhten Trainingsaufwands. Ebenfalls kann die Überstreckung der Halswirbelsäule zu postoperativen Beschwerden wie Ner-

Abbildung 6
Evaluierung neuer Systeme und Verfahren zur Stimm lippenchirurgie im Experimental-Operationssaal
Quelle: Andreas Schoob





Dipl.-Ing. Dennis Kundrat

Jahrgang 1985, ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme. Nach dem Maschinenbaustudium mit den Schwerpunkten Medizintechnik und Robotik in Berlin und Hannover forscht er derzeit im Bereich der Kontinuumsroboter-assistierte Laserchirurgie. Kontakt: dennis.kundrat@imes.uni-hannover.de



Dir.-Ing. Jan-Hinnerk Borchard

Jahrgang 1983, war von 2010 bis 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme. Er promovierte 2016 zur Entwicklung und Aufbau von Systemen für die roboterassistierte Single-Port-Laparoskopie an der Fakultät für Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover.



Dr.-Ing. Lüder Alexander Kahrs

Jahrgang 1975, ist seit 2013 Leiter der Gruppe Medizintechnik und Bildverarbeitung am Institut für Mechatronische Systeme mit Schwerpunkt im Bereich Computer- und Roboterassistierte Chirurgie. Nach einem Studium der Physik an der Universität Bremen wechselte er an die Universität Karlsruhe (TH). Bevor er nach Hannover kam, hielt er noch zwei Postdoc-Positionen in Düsseldorf und Nashville, USA inne. Kontakt: lueder.kahrs@imes.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Tobias Ortmaier

Jahrgang 1974, leitet seit 2008 das Institut für Mechatronische Systeme an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Modellierung, Identifikation, Optimierung, Regelung und Vernetzung komplexer Systeme. Anwendung finden die Methoden beispielsweise in der Robotik, Medizin-, Kraftfahrzeug- sowie der Produktionstechnik. Kontakt: tobias.ortmaier@imes.uni-hannover.de

venschädigungen durch die erhöhten Interaktionskräfte zwischen Gewebe und Instrumentarium führen. Die aktuelle Forschung führt dabei das im Jahr 2015 abgeschlossene EU Projekt μ RALP (www.uralp.eu, ICT N° 288663) fort und verfolgt die Verbesserung des Operationsverfahrens durch Etablierung eines mechatronischen Assistenz-Systems. Der endoskopische Ansatz ermöglicht eine robotische Positionierung des Endoskopkopfes zur stimmlippennahen Ablenkung des Laserstrahls unter gleichzeitiger stereoskopischer Bildgebung. Die Planung des Laserschnitts erfolgt dabei mittels Grafiktablett auf Live-Bilddaten. Die Vorpositionierung des Endoskopkopfes im Larynx sowie die automatische robotische Ablenkung des Laserstrahls wird mittels Stellmotoren realisiert, die

sich in den verschiedenen Prototypen sowohl in einer sogenannten Aktuierungseinheit am körperfernen Ende des Endoskops als auch innerhalb des Endoskopkopfes (intrakorporale Anordnung) befinden. Bis zu sechs Motoren lenken dabei über Schubstangen und -drähte flexible Elemente aus, die zur Positionierung des Lasers beim Gewebeschnitt bzw. -ablation führen. Die Kombination aus aktuiertem Laserendoskop mit der Möglichkeit der intraoperativen Planung des Laserbereichs und einer Bilddatenrückgeführten Regelung wird so in Zukunft ein optimiertes chirurgisches Ergebnis und somit eine bestmögliche Patientenversorgung erlauben, da beispielsweise Patientenbewegungen kompensiert werden können. Im Verlauf der bisherigen Untersuchun-

gen wurde der in *Abbildung 5* gezeigte prototypische, endoskopische Aufbau entwickelt und bereits in einer experimentel-chirurgischen Umgebung getestet (*Abbildung 6*). Die bis dato entwickelten robotischen transoralen Instrumente besitzen dabei Durchmesser von 7,5 mm bis 18,5 mm und enthalten je nach Ausgestaltung Chip-on-the-Tip Kameras, Laserfokusmodule, Mikrospiegel und Beleuchtungseinheiten (LED oder faserbasiert).

Für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist eine Kombination der robotischen Methoden für die beschriebenen transluminalen und laparoskopischen Instrumente denkbar. Eine Weiterentwicklung zu noch kleineren Durchmessern und hoher Flexibilität bei gleichzeitiger

Fusion von mehreren Greif- und (Laser-)Schneidwerkzeugen in einem gemeinsamen mechatronischen System mit (semi-)autonomen Funktionalitäten würde ein ideales Assistenzsystem für den Operationssaal der Zukunft darstellen.

Flexibel und starr zugleich

EINE ELEKTROMAGNETISCH BEWEGTE SCHLANGE FÜR DIE ENDOSKOPIE

Konventionelle Endoskope stoßen immer häufiger an ihre Grenzen. Daher arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL) und vom Institut für Mechatronische Systeme (imes) in dem Projekt »Biegeaktor« an neuartigen, schlangengleichen Endoskopen, die sowohl in der Medizin als auch in der Industrie eingesetzt werden können.

Herausforderungen der Endoskopie

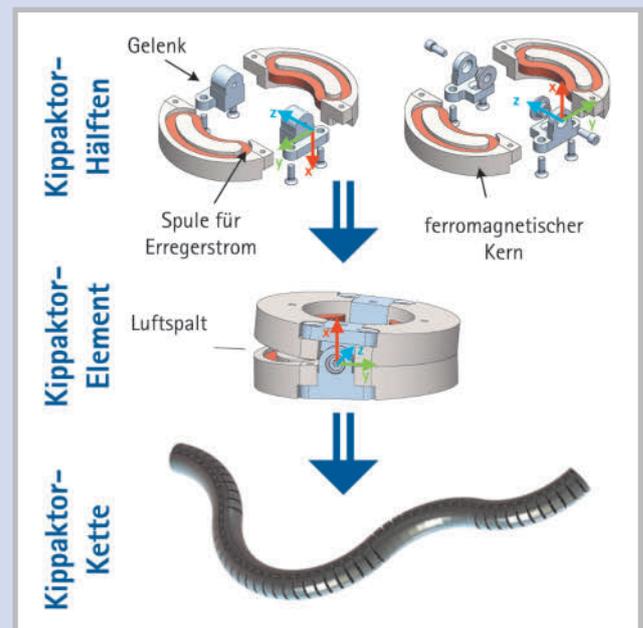
In der Regel werden für medizinische und technische Applikationen konventionelle flexible Endoskope verwendet. Beispiele hierfür sind die Darmspiegelung in der Medizin oder die Wartung von Rohrsystemen oder Flugzeugturbinen in der Industrie. Diese so genannten Flexoskope sind als passiver Schlauch mit einem über Seilzüge abwinkelbaren Vorderteil, dem distalen Ende, aufgebaut und werden manuell vom Anwender bis in das Untersuchungsgebiet vorgeschoben.

In medizinischen Anwendungen kann ein solches passives Endoskop aufgrund von Wechselwirkungen mit anatomischen Strukturen allerdings das umliegende Gewebe dehnen und Schleifen bilden (*Abbildung 1a*). Dies führt unter anderem zu Schmerzen für den Patienten. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass der Vorschub durch Reibung am Gewebe oder Engstellen gehemmt wird. Dies erhöht das Verletzungsrisiko am umliegenden Gewebe (zum Beispiel durch Perforationen des Darms) massiv.

Als weiterer Nachteil ist festzuhalten, dass die für hochpräzise endoskopische Eingriffe existierenden passiven Systeme dem Operateur keine stabile Arbeitsplattform bereitstellen. Grund dafür ist, dass

Prinzipieller Aufbau einer Kippaktorkette

Das endoskopische System wird aus aneinandergereihten, gleichartigen Kippaktoren aufgebaut. Jeder einzelne Kippaktor besteht dabei aus jeweils vier angeschrägten, leicht magnetisierbaren (ferromagnetischen) Kernen und Spulen. Diese sind über nicht magnetisierbare (paramagnetische) Gelenke miteinander verbunden.



die flexiblen Strukturen nur geringe Manipulationskräfte aufnehmen können. Exaktes und schnelles Arbeiten im Untersuchungsgebiet, wie etwa die präzise Entfernung von krankhaftem Gewebe, ist damit nur schwer möglich und erfordert Kompetenzen des Arztes und der Ärztin, die wiederum ein langes Training voraussetzt.

Ähnliche Schwierigkeiten ergeben sich auch bei der Verwendung von flexiblen Endoskopen in technischen Prozessen. Hier ist eine Abstützung an der Umgebung durch deren höhere Steifigkeit in der Regel weniger kritisch. Dennoch ist es wichtig, eine stabile Arbeitsplattform zu bieten und gleichzeitig eine gute Pfadverfolgung zu gewährleisten. Nur so

ist es möglich, auch in schwer zugänglichen Bereichen zu arbeiten und diese Prozesse gleichzeitig zu automatisieren.

Eine Schlange aus Elektromagneten

Um den genannten Schwierigkeiten zu begegnen, erarbeitet ein Team des Mechatronik-Zentrums Hannover (MZH)

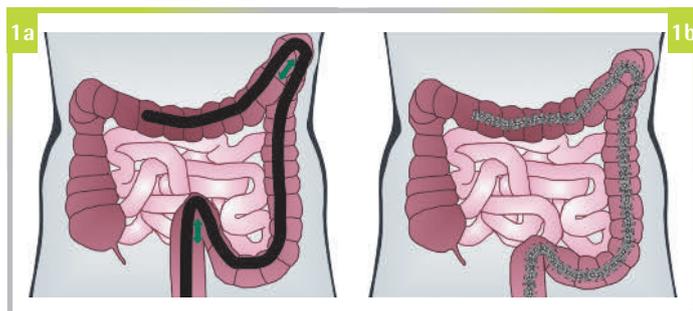
Widersprüche vereinen

Eine solche Kette aus elektromagnetischen Aktoren ist in der Lage, einen bisher grundsätzlichen Widerspruch aufzulösen: Sie würde dem Anwender sowohl eine steife als auch eine flexible Plattform zur Verfügung stellen, ohne dass dieser das System wechseln muss. Die Flexibilität

Magnetische Kraft richtig dosieren

Eine günstige Gestaltung zu erarbeiten erfordert zunächst die Berechnung und Modellierung des magnetischen Kreises. Dieser besteht aus den Kernen und dem Luftspalt, der aufgrund seiner V-Form elektromagnetisch sehr ungleichmäßig ist. Die Kenntnis der Verteilung des mag-

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Probleme konventioneller, flexibler Koloskope (1a) und Alternatividee des derzeit erforschten, schlangenartigen Roboters (1b), der Schleifenbildung und Dehnung des Gewebes gezielt verhindert.



der Leibniz Universität in dem Projekt »Biegeaktor« eine innovative Schlange aus Elektromagneten. Am Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL) und am Institut für Mechatronische Systeme (imes) werden die Grundlagen für diesen neuartigen Typ von Endoskopen erforscht, um diese zukünftig sowohl medizinisch als auch industriell einsetzen zu können.

Dabei werden keine Dauermagnete, sondern in ihrer Kraft regelbare Elektromagnete verwendet, die aneinander gereiht sind und zwei Funktionen erfüllen: »Kippen« und »Halten«. Die Aktorelemente sind bistabil (siehe Kasten), das heißt, sie können von einer Seite auf die andere klappen, sich dort mit hoher Kraft halten und danach, sobald gewünscht, wieder zurückklappen. Werden die Aktorelemente auf geeignete Art und Weise hintereinander angeordnet, lassen sich unterschiedlichste Formen der Schlange erreichen.

wird dabei durch die aktive Bewegbarkeit der einzelnen Aktoren innerhalb der Schlange erzielt. Damit kann sie quasi-kontinuierliche Bewegungen ausführen, wodurch insbesondere eine gute Anpassbarkeit an unterschiedliche Pfade erreicht wird. Dadurch können Interaktionen mit der Umgebung, wie beispielsweise Schleifenbildung oder eine übermäßige Dehnung des Gewebes, verhindert werden (Abbildung 1b). Der elektromagnetische Antrieb ermöglicht zusätzlich eine gezielte Versteifung der Gesamtstruktur, so dass dem Anwender eine stabile Arbeitsplattform zur Verfügung steht.

Die Ziele bestehen darin, zu erforschen, wie die Einzelelemente der Aktorkette gestaltet werden müssen, um trotz kleinen Durchmessers hohe Kräfte zu erzielen, wie sie mit Energie versorgt werden können und wie genau lange Aktorketten angesteuert werden müssen, damit die Schlange einer vorgegebenen Bahn folgt.

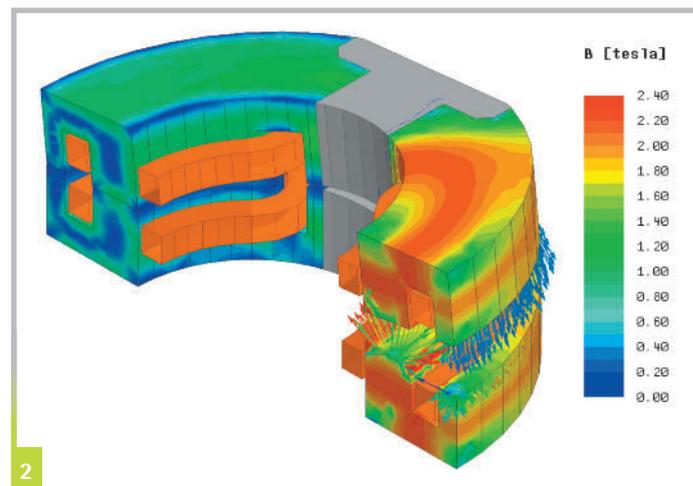


Abbildung 2 Darstellung der magnetischen Flussverteilung im dreidimensionalen Finite-Elemente-Modell (ANSYS Maxwell 3D) bei Bestromung der offenen Seite. Deutlich zu erkennen sind die besonders stark gesättigten Bereiche in Rot.

netischen Flusses im Aktor ist von entscheidender Bedeutung, da sich aus dieser das resultierende Kipp- beziehungsweise Haltemoment eines Aktors berechnen lässt. Die Berechnung der Flussverteilung erfolgt über ein dreidimensionales Simulationsmodell (Abbildung 2). Auf diese Weise wurde bereits eine Vielzahl verschiedener Geometrievariationen untersucht.

Für das Versteifen der Kette werden die jeweiligen Spulen einer geschlossenen Aktorseite mit einem konstanten, vergleichsweise geringem Haltestrom versorgt. Soll das Kippen auf die andere Seite eingeleitet werden, wird dieser Haltestrom zunächst abgeschaltet. Anschließend erfolgt die impulsförmige Entladung eines Kondensators in die Spulen der geöffneten Seite. Durch den für einige Millise-

kunden sehr hohen Stromstoß kippt der Aktor.

Neben der elektromagnetischen Dimensionierung ist eine möglichst präzise und zeiteffiziente Berechnung des Kippvorgangs eine Herausforderung. Wie klassische Dauermagnete neigen auch Elektromagnete dazu, mit

großer Wucht aufeinander zu schlagen. Die Herausforderung besteht somit darin, die Bestromungsdauer der Spulen so zu berechnen, dass beim Schließen möglichst geringe impulsförmige Kräfte wirken, gleichzeitig aber

ein zuverlässiges Kippen gewährleistet ist. Da bei diesem System viele verschiedene physikalische Domänen (thermisch, mechanisch, magnetisch, elektrisch) in Wechselwirkung treten, ist die dynamische Berechnung des Aktorverhaltens mit einigen Schwierigkeiten verbunden.

Kontrollierte Bewegung

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Konstruktion und Modellierung der elektromagnetischen Kernkomponenten, wird parallel ein Steuerungskonzept erarbeitet, das intuitiv bedienbar ist: Dabei wird lediglich die Spitze des Endoskops während des Vorschubs zur Exploration der Umgebung manuell vom Bediener eingestellt. Alle weiteren Aktoren der Kette werden automatisch nachgeführt, so dass sie dem Weg der Endoskopspitze folgen. Dieses Vorgehen wird auch »Follow-the-

Leader«-Prinzip genannt (Abbildung 3). Der verfolgte Ansatz basiert damit prinzipiell auf dem aktuellen Vorgehen bei der Verwendung passiver, schlauchartiger Endoskope. Doch während letztere ihre Form durch Interaktion mit dem Gewebe ändern, kann das neuartige Endoskopsystem mittels der automatischen Nachführung der Aktoren generell eine sehr gute Pfadverfolgbarkeit gewährleisten. Doch diese Eigenschaft ist mit einer wichtigen Einschränkung verbunden: Durch das bistabile Verhalten der einzelnen Aktoren und da die Kippbewegung von außen lediglich gestartet, nicht aber variiert werden kann, können die Aktoren der Kette der Endoskopspitze nicht uneingeschränkt folgen. Daher ergibt sich eine wichtige, grundlegende Frage hinsichtlich der Ansteuerung: Wann muss welcher Aktor wie gekippt werden, damit eine möglichst geringe Abweichung zum



Dipl.-Ing. Michael Dörbaum

Jahrgang 1987, ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik der Leibniz Universität Hannover. Seine Arbeitsschwerpunkte sind elektromagnetische Aktorik, Kleinmaschinen und gekoppelte Systemsimulation. Kontakt: michael.doerbaum@ial.uni-hannover.de

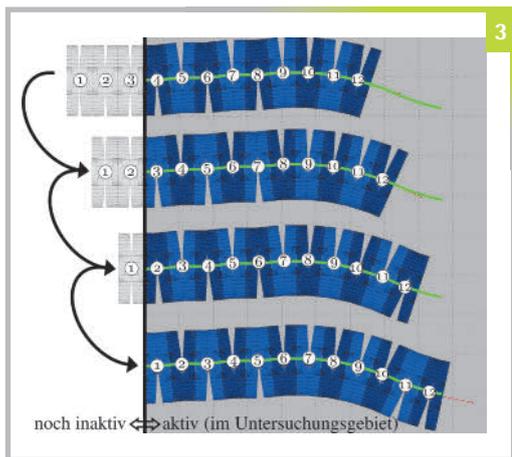
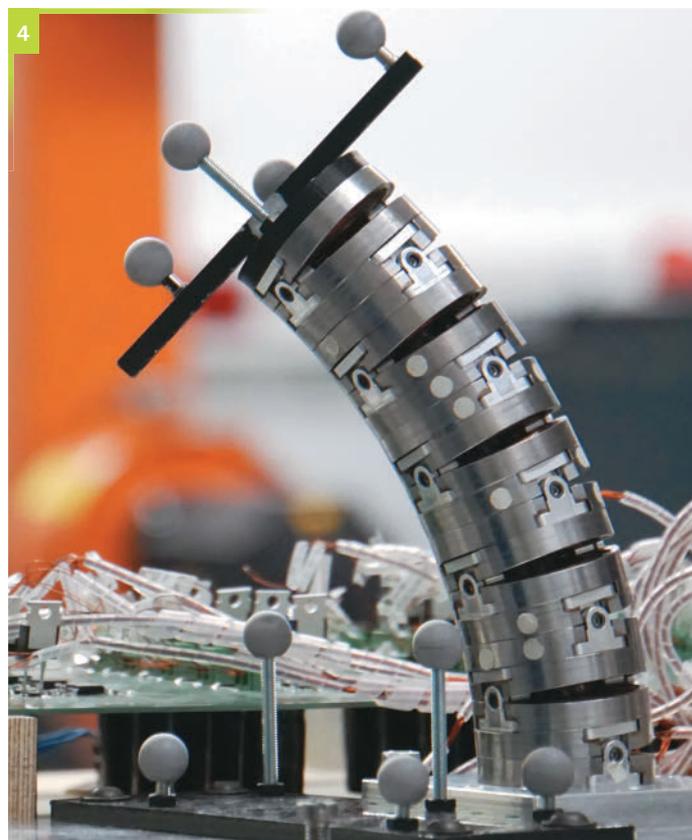


Abbildung 3 Darstellung einzelner Schritte des »Follow-the-Leader«-Konzepts: Dabei wird die Aktorkette von einem Schritt zum anderen um einen Aktor weiter in das Untersuchungsgebiet eingeführt. Die nötigen Kippzustände der Einzelaktoren werden dabei mittels »Follow-the-Leader«-Konzept bestimmt.

Abbildung 4 Prototyp des schlangenartigen Endoskops mit zehn Einzelaktoren (jeweils um 90° zueinander verdreht), einer Platine für die leistungselektronische Ansteuerung jedes Einzelaktors und einer Kugel-Marker-Anordnung zur optischen Erfassung der Systembewegung.





M. Sc. Svenja Tappe

Jahrgang 1988, ist seit 2013 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Mechatronische Systeme der Leibniz Universität Hannover. Als Mitglied der Arbeitsgruppe »Robotik und autonome Systeme« beschäftigt sie sich schwerpunktmäßig mit der Modellierung und Steuerung mechatronischer Systeme, insbesondere hyperredundanter, schlangenartiger Roboter.
 Kontakt: svenja.tappe@imes.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Jens Kotlarski

Jahrgang 1980, ist seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme der Leibniz Universität Hannover und seit 2011 Leiter der Forschungsgruppe »Robotik und autonome Systeme«. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die Entwicklung applikationsspezifischer Mehrachsensysteme, deren Modellierung und Identifikation sowie die optimale Pfadplanung und Regelung. Kontakt: jens.kotlarski@imes.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Tobias Ortmaier

Jahrgang 1974, leitet seit 2008 das Institut für Mechatronische Systeme der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Modellierung, Identifikation, Optimierung, Regelung und Vernetzung komplexer Systeme. Anwendung finden die Methoden beispielsweise in der Robotik, Medizin-, Kraftfahrzeug- sowie der Produktionstechnik. Kontakt: tobias.ortmaier@imes.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

Jahrgang 1964, ist seit 2004 Professor für elektrische Maschinen und Antriebssysteme am Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik der Leibniz Universität Hannover. Seine Arbeitsschwerpunkte sind zeiteffiziente Berechnungsverfahren für elektrische Maschinen und Antriebssysteme, Ausgleichsvorgänge in Antriebssystemen und die Erforschung von Sondereffekten bei umrichter gespeisten Maschinen. Kontakt: ponick@ial.uni-hannover.de

Sollpfad auch während des Vorschubs erreicht wird. Basierend auf einer möglichst genauen Nachbildung des Systemverhaltens, wird daher das »Follow-the-Leader«-Verfahren an die speziellen nicht kontinuierlichen Systemeigenschaften angepasst. Dabei wird eine gute Pfadgenauigkeit durch die modellbasierte Bestimmung optimaler Schaltsequenzen erreicht.

Da endoskopische Untersuchungen nicht nur auf die Darmspiegelung begrenzt sind, wird neben der Frage einer optimalen Ansteuerung auch eine Anpassung der Aktorkette an verschiedene Applikationen (zum Beispiel die Inspektion von Flugzeugturbinen oder Rohrleitungen) angestrebt. Hierzu werden zunächst je nach Anwendung die nötigen Anzugs- sowie Haltemomente abgeschätzt. In Kombinationen mit skalierbaren

elektromagnetischen Modellen sollen so zukünftig anwendungsspezifisch optimierte Strukturen entwickelt werden.

Der praktische Nachweis

Um die theoretischen Erkenntnisse zu überprüfen, wurde ein Prototyp aus zehn Aktorelementen aufgebaut und erfolgreich getestet (*Abbildung 4*). Es konnte gezeigt werden, dass das Antriebskonzept geeignet ist und eine solche Kette die eigentlich widersprüchlichen Anforderungen an Flexibilität und stabiler Arbeitsplattform gut miteinander vereint. Die praktischen Versuche haben dabei gezeigt, dass die Schlange nicht nur verschiedene Konturen annehmen, sondern diese auch sehr präzise erreichen kann. Zudem kann die Kippbewegung selbst sowohl für den Einzelaktor wie auch für die

Kette bereits gut angenähert werden, erfordert aber noch eine detailliertere Modellierungstiefe. Insgesamt konnte das Konzept mit dem Prototypen bestätigt werden, für einen zukünftigen Einsatz als Endoskop müssen aber an einigen Stellen noch zusätzliche Anstrengungen unternommen werden. Beispielsweise steht noch die Frage im Raum, wie eine Ummantelung der Schlange aussehen kann, die einerseits das Klemmrisiko verringert und andererseits die Kippbewegung nicht einschränkt. Besonders spannend sind beispielsweise auch die Fragen hinsichtlich des Einsatzes von innovativen, besonders leicht zu magnetisierenden Materialien, um die Verluste zu verringern, und nicht zuletzt die Erforschung der Grenzen für eine Miniaturisierung des Systems, das heißt eine Verringerung des Durchmessers der Aktorelemente.

Roboter auf Stromsparkurs

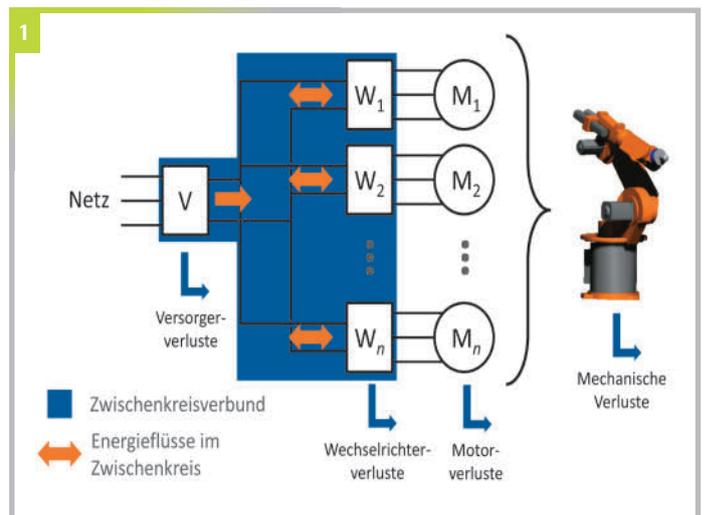
ENERGIEEFFIZIENTE BEWEGUNGSPLANUNG FÜR PRODUKTIONSANLAGEN

Einleitung

Den Stromverbrauch möglichst niedrig zu halten ist auch für die produzierende Industrie immer wichtiger – vor allem, wenn immer mehr Maschinen und Roboter zum Einsatz kommen. Damit Industrieroboter energieeffizienter arbeiten können, entwickeln Wissenschaftler vom Institut für Mechatronische Systeme eine optimierte Software, um die Bewegungsabläufe der Maschinen anders und effizienter steuern zu können.

Elektrische Antriebe weisen mit etwa 55 Prozent den größten Anteil am gesamtdeutschen Stromverbrauch auf, bezogen auf die produzierende Industrie liegt der Wert bei über zwei Dritteln. Gleichzeitig lässt sich in den letzten Jahren ein erhebliches Wachstum im Bereich der industriellen Robotik verzeichnen: Laut der International Federation of Robotics (IFR) stieg die Zahl der verkauften Industrieroboter 2015 um zwölf Prozent, 2014 um 29 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Mittlerweile kommen in einer modernen Fertigungslinie in der Automobilindustrie bis zu 2000 Roboter zum Einsatz. Mit zunehmendem Automatisierungsgrad steigt auch die Zahl der elektrischen Antriebe und somit der Gesamtstromverbrauch der Anlage. Entsprechend groß ist der Bedarf an Konzepten zur Steigerung der Energieeffizienz, sowohl aus finanzieller als auch aus ökologischer Sicht.

Welche Faktoren entscheiden eigentlich darüber, wie effizient ein Roboter betrieben wird? Betrachten wir hierzu zunächst den typischen Aufbau und die zugehörigen Energieflüsse eines Industrieroboters: Grundsätzlich wird beim Roboter elektrische Energie aus dem Stromnetz in Bewegungen der Achsen, also in mechanische Energie, umgewandelt. Hierbei sind fol-



gende Komponenten beteiligt (Abbildung 1):

- Gleichrichter zur Wandlung der Netzspannung in Gleichspannung (»Netzteil«),
- Wechselrichter zur Ansteuerung der Motoren,
- Elektromotoren und Getriebe und
- Manipulator/Roboterarm.

Jede dieser Komponenten verursacht im laufenden Betrieb Energieverluste, die irreversibel in Form von Wärme an die Umwelt abgegeben werden, bedingt durch elektrische (zum Beispiel Ohm'sche Verluste, Wirbelströme, Schaltverluste) oder mechanische Effekte (Reibung in der Lagerung der Motoren und in den Getrieben). Um die Energieeffizienz des Systems zu steigern, müssen demnach die Verluste so weit wie möglich reduziert

werden. Hierzu sind verschiedene Ansätze denkbar, die im Folgenden vorgestellt werden.

Ein naheliegender Ansatz zur Reduktion von Verlusten ist die Entwicklung möglichst effizienter Hardwarekomponenten. Das Einsparpotenzial ist allerdings beschränkt: Die elektrischen Antriebsstränge verfügen bereits über sehr hohe Wirkungsgrade (>90 Prozent), weitere signifikante Steigerungen sind hier nicht zu erwarten. Änderungen an der Mechanik (zum Beispiel Leichtbauweise des Armes oder Verringerung der Getriebereibung) verursachen häufig Einbußen bezüglich Festigkeit und Positioniergenauigkeit. Die beschriebenen Modifikationen sind in der Regel mit höheren Anschaffungskosten verbunden, beim Umrüsten bestehender

Maschinen werden darüber hinaus unerwünschte Stillstandzeiten verursacht, die den Produktionsablauf unterbrechen und den Kostenvorteil des sparsamen Betriebs dadurch zunichtemachen.

Energieeffizientes Navigationsgerät für Industrieroboter

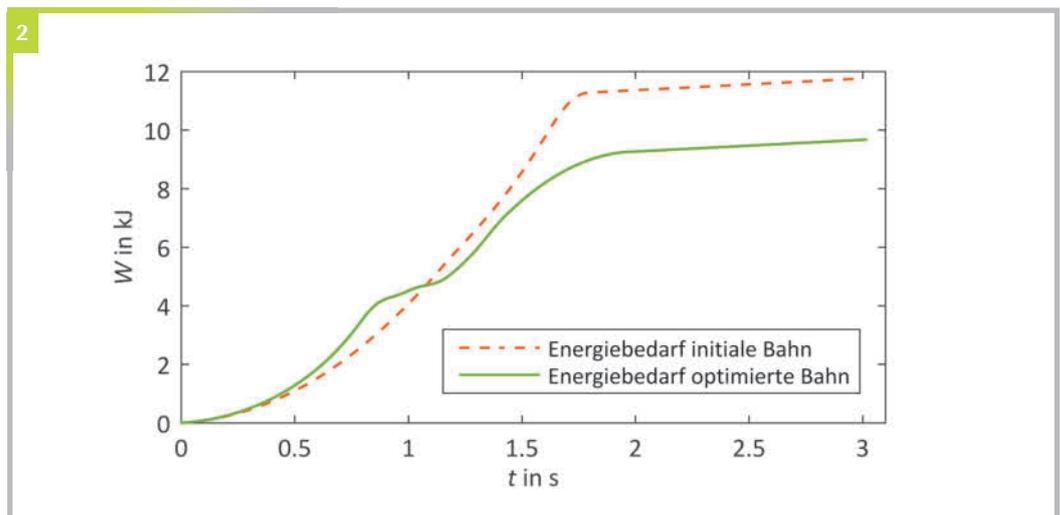
Das Institut für Mechatronische Systeme (*imes*) verfolgt einen anderen Ansatz: Nicht die Hardware, sondern die Software des Systems soll optimiert werden. In der Regel ist die Aufgabe eines Roboters durch den Prozess vorgegeben, so soll zum Beispiel ein Bauteil an einer Stelle aufgenommen und an einer anderen abgelegt werden. Die Programmierung einer solchen Bewegung ist vergleichbar mit der Bedienung eines Navigationssystems: Der Anwender gibt in der Regel nur den Start- und Zielpunkt an, die Robotersteuerung berechnet die schnellste Verbindung dazwischen. Diese ist immer dann gegeben, wenn mindestens eine der Roboterachsen an der Grenze ihrer maximal zulässigen Geschwindigkeit und/oder ihres maximalen Antriebsmoments fährt. Die Grenzen sind durch die verwendete Hardware vorgegeben. Die Gesamtverfahrzeit wird durch die Achse mit der (zeitlich) längsten Bewegung vorgegeben. Die restlichen Achsen werden auf diese langsamste Achse synchronisiert, sodass alle Achsen zur gleichen Zeit starten und ankommen.

Der am *imes* entwickelte Planungsansatz berücksichtigt nicht nur die Verfahrzeit, sondern auch den Energiebedarf. Der Algorithmus berechnet diejenige Bahn, die zum geringsten Energieverbrauch bei gleichbleibender Bewegungsdauer führt: Die Bewegung der zeitkritischen Achse kann

nicht verändert werden, ohne die Gesamtverfahrzeit zu verlängern. Die übrigen Achsen stehen hingegen zur Optimierung zur Verfügung. Der Gesamtenergiebedarf vor und nach Optimierung ist für eine Beispielbewegung in *Abbildung 2* dargestellt. Die Ersparnis beträgt im dargestellten Fall 17,6 Prozent. Die Reduktion des Energiebedarfs ergibt sich aus verschiedenen Effekten: Zum einen hängt die be-

Analog zum Elektroauto sind die Motoren in der Lage, sowohl motorisch als auch generatorisch (Bremsbetrieb) zu arbeiten. Während beim Elektroauto die Energie im generatorischen Betrieb genutzt wird, um die Batterie zu laden, kann jene beim Roboter direkt von anderen Antriebsachsen genutzt werden.

Die zuvor erwähnte Synchronisation bedeutet auch, dass



nötigte Energie der einzelnen Achsen von der mechanischen Last ab. Wenn diese für die Bewegung reduziert werden können, ergibt sich in der Regel auch ein geringerer Leistungs- beziehungsweise Energiebedarf für das Gesamtsystem. Dieser Zusammenhang ist eigentlich jedem Menschen bekannt – wie anstrengend zum Beispiel das Heben eines Gegenstands ist, hängt maßgeblich von der Körperhaltung ab (sind zum Beispiel die Arme angezogen oder ausgestreckt?). Noch größeres Potenzial birgt der elektrische Aufbau des Systems. Die Antriebsachsen des Roboters sind in der Regel über einen gemeinsamen Zwischenkreis elektrisch gekoppelt, sodass ein Energiefluss nicht nur vom Versorger zum Motor, sondern auch zwischen den Antriebsachsen möglich ist.

alle Achsen zeitgleich beschleunigen oder verzögern/abbremsen. Somit werden in der Regel sämtliche Achsen gleichzeitig motorisch beziehungsweise generatorisch betrieben und ein Energieaustausch zwischen den Achsen kommt nicht zustande. Wird die elektrische Kopplung der Antriebe hingegen bei der Bewegungsplanung berücksichtigt, kann der Energieaustausch explizit genutzt und somit die Energieeffizienz des Systems deutlich gesteigert werden. Die gleiche Ersparnis könnte auch mit einem rückspeisefähigen Versorgungsmodul erzielt werden, was die überschüssige Energie zurück ins Netz speist. Diese Module sind jedoch mit höheren Anschaffungskosten gegenüber herkömmlichen Versorgern verbunden und würden eine Umrüstung bestehender An-

Abbildung 1 Typischer Aufbau des Antriebsstrangs eines Industrieroboters mit Versorger V, Wechselrichtern W und Motoren M. Die industriell eingesetzten Roboterarme besitzen in der Regel sechs Antriebe (n = 6).

Abbildung 2 Energiebedarf des Gesamtsystems für eine Beispielbewegung, dargestellt in Rot für die initiale und in Grün für die optimierte Bewegung. Die Ersparnis beträgt in diesem Fall 17,6 %.



Dipl.-Ing. Kai Eggers

Jahrgang 1988, ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme. Nach dem Elektrotechnikstudium mit den Schwerpunkten Energie- und Antriebstechnik in Braunschweig forscht er derzeit im Bereich der energieoptimalen Bahnplanung für Industrieroboter. Kontakt: kai.eggers@imes.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Jens Kotlarski

Jahrgang 1980, ist seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme und seit 2011 Gruppenleiter der Forschungsgruppe »Robotik und autonome Systeme«. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die Entwicklung applikations-spezifischer Mehrachssysteme, deren Modellierung und Identifikation sowie die optimale Pfadplanung und Regelung. Kontakt: jens.kotlarski@imes.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Tobias Ortmaier

Jahrgang 1974, leitet seit 2008 das Institut für Mechatronische Systeme an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Modellierung, Identifikation, Optimierung, Regelung und Vernetzung komplexer Systeme. Anwendung finden die Methoden beispielsweise in der Robotik, Medizin-, Kraftfahrzeug- sowie der Produktionstechnik. Kontakt: tobias.ortmaier@imes.uni-hannover.de

Abbildung 3
Initiale und optimierte Beispielbewegung für einen KUKA KR210 Knickarmroboter. Rot zeigt erneut die initiale, Grün die optimierte Bahn an.



lagen voraussetzen. Der direkte Austausch über den Zwischenkreis ist somit deutlich günstiger und einfacher umsetzbar.

Berechnung der energieeffizienten Bewegung

Zur Bestimmung der energieoptimalen Roboterbewegung müssen zunächst Methoden entwickelt werden, um den Energiebedarf eines Roboters vorherzusagen. Hierzu wurden sämtliche Antriebskomponenten (inklusive der bewegten Mechanik) und Energiespeicher in einem Simulationsmodell hinterlegt, mit dessen Hilfe der netzseitige Energieverbrauch mit einer Genauigkeit von 95 Prozent mathematisch berechnet werden kann. Die Modellierungsansätze wurden im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)

geförderten Projekts entwickelt und bilden die Grundlage für das »Energiespar-Navi«, also für die Berechnung der energieeffizientesten (und gleichzeitig schnellsten) Bahn. Damit die Verfahren von industriellen Anwendern universell eingesetzt werden können, sind die gleichen Randbedingungen wie bei den herkömmlichen industriellen Ansätzen berücksichtigt (zum Beispiel die maximalen Geschwindigkeiten der Motoren oder die maximalen Getriebebelastungen). Zur Vermeidung von Kollisionen kann der Anwender ergänzend einen Toleranzbereich für die maximale Änderung der Bewegung im Arbeitsraum vorgeben. Dieser ist als eine Art Schlauch um die initiale Bahn definiert, der bei Bedarf stellenweise zusätzlich verjüngt werden kann, zum Beispiel beim Durchfahren besonders kritischer Bereiche innerhalb der Roboterzelle.

Vom grünen Roboter zur grünen Produktion

Das Prinzip der gezielten Nutzung des Energieaustauschs über einen gemeinsamen Zwischenkreis kann auch auf ganze Roboterzellen übertragen werden. Forschung und Industrie arbeiten derzeit an neuen Versorgungskonzepten für industrielle Fertigungsstraßen, sodass Zellen oder perspektivisch auch die gesamte Linie über einen gemeinsamen Zwischenkreis versorgt werden. Analog zur Optimierung der Bewegung eines Roboters können dann nicht nur Einzelachs-bewegungen, sondern auch ganze Prozessschritte/ Bewegungsabläufe derart angepasst werden, dass ein Austausch zwischen den Robotern und/oder mit anderen elektrisch betriebenen Maschinen zustande kommt. Die Portierung des Verfahrens ist Bestandteil eines Forschungsprojekts am *imes*, welches ebenfalls von der DFG gefördert wird.



IP FOR IP
INTELLECTUAL PROPERTY
FOR
INTELLECTUAL PEOPLE

Fernstudium

in Zusammenarbeit mit der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Gewerblicher Rechtsschutz

Nebenberufliche Weiterbildung zur/zum

- Patentingenieur/in
- Patentreferent/in

Zwei Semester mit Abschlussprüfung
und Universitäts-Zertifikat



IP for IP GmbH

Seminare, Trainings und Coaching im
gewerblichen Rechtsschutz von A bis Z

Effizient, flexibel,
praxis- und
zielorientiert

Tel. +49 (0) 6201 8443730 · info@ipforip.de · www.ipforip.de

maxon motor ist der weltweit führende Anbieter
von hochpräzisen Antriebssystemen.

Innovative Lösungen und höchste Qualität – das ist
das, wofür maxon motor steht.

LUFT- UND RAUMFAHRT
AUTOMOBILINDUSTRIE
ROBOTIK
KOMMUNIKATION
CONSUMER ANWENDUNGEN
INDUSTRIELLE AUTOMATISATION
MEDIZIN
MOTORISIERUNG
S



get ahead

Mitmachen und dazugehören.

Geben können und nehmen.

**Zum Erfolg beitragen und
selbst erfolgreich sein.**

**Spaß haben an der Arbeit und darin
weit mehr sehen als nur einen Job.**

**Es gibt viele Gründe, warum maxon motor
als Arbeitgeber den Unterschied macht.**



maxon motor GmbH

Untere Ziel 1 · 79350 Sexau · www.maxonmotor.de

maxon motor

driven by precision



Karrierechancen bei KEMNA

Die Zweigniederlassung Hannover ist in der Region
neben der Kompetenz rund um den Verkehrswegebau
auch als attraktiver Arbeitgeber bekannt.

Aktuelle Vakanzen

- Technischer Trainee (m/w)
- Jung-/Bauleiter (m/w)
- Kalkulator (m/w)

Wir bieten Ihnen ein unbefristetes Arbeitsverhältnis,
ein attraktives Vergütungspaket, eine umfassende
Einarbeitung in einem innovativen Arbeitsumfeld,
umfangreiche Weiterbildungsangebote und eine
angenehme Arbeitsatmosphäre.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!

Steinbruchbetriebe



Asphaltspül-Werke



Straßenbau



KEMNA BAU Andreae GmbH & Co. KG

Personalabteilung
Tondernstraße 70, 25421 Pinneberg



+++ Aktuelle Stellenangebote für alle Standorte finden Sie auf unserer Karriereseite unter karriere.kemna.de +++

Dynamische Karten

GEDÄCHTNIS MOBILER ROBOTER

Das Auto der Zukunft fährt autonom, vermeidet Gefahren und sucht sich den freien Parkplatz wie von selbst: Was momentan noch visionär klingt, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler längst als Ziel definiert. Am Institut für Kartographie und Geoinformatik werden dynamische Karten entwickelt, um die Realität zu erfassen und Fahrzeugen ein intelligentes Verhalten zu ermöglichen.

Welches Bild haben wir vor Augen, wenn wir nach einem »Roboter« gefragt werden? Vermutlich jenes eines klassischen Industrieroboters, der in der Produktion schweißßt oder Werkstücke handhabt und dabei zuverlässig, ermüdungsfrei und mit enormer Präzision eingelernte Vorgänge wiederholt. Vielleicht denken wir aber auch an Science-Fiction? An eine Welt, in der sich Roboter frei bewegen, ihren Aufträgen nachgehen und dabei mit Menschen und Objekten ihrer Umwelt interagieren? Heute sind wir mittendrin auf dem Weg vom Industrieroboter des vergangenen Jahrhunderts zu dieser Vision. Autonome Transportsysteme in der Logistik, Landwirtschaftsroboter, selbstfahrende Automobile, fliegende (Drohnen-) Liefersysteme sowie autonome Staubsauger und Rasenmäher zeugen von dieser Entwicklung.

Mobile Roboter treiben diesen Wandel an, denn Mobilität benötigt Sensoren, Aktoren (Antriebselemente) und Intelligenz. Da mobile Roboter in ihre Umgebung eingebettet sind, wird die Planung eines »intelligenten« Verhaltens erleichtert, wenn ein räumliches Modell der Umgebung vorliegt. Herkömmliche Karten sind solche Umgebungsmodelle. Beschränkt auf eine ausgewählte Thematik dokumentieren sie den Ist-Zustand der Welt. Sie werden mittels Vermessung erfasst, aufbereitet,

veröffentlicht und schließlich benutzt. Aufgrund der aufwändigen Erstellung ist ihre Aktualisierung leider nur in großen Zeitabständen zu leisten, weshalb sie meist veraltet sind.

Ziel aktueller Entwicklungen sind deshalb *dynamische Karten*, welche ein zeitnahes Abbild der Realität liefern. Dies ist nur möglich, wenn die Erfassung viel häufiger als bisher erfolgt. Hierfür muss sie wesentlich preisgünstiger werden, was dadurch erreicht werden kann, dass die Nutzer der Karte zugleich ihre Erfasser sind. Die individuelle Selbsterfassung dynamischer Karten reicht jedoch nicht aus, denn sie würde bedeuten, dass Regionen, die noch nie besucht wurden, nicht kartiert sind. Deshalb könnten sinnvolle Planungen nur innerhalb der bereits explorierten Welt erfolgen. Der zweite wesentliche Aspekt ist daher die *Kollaboration*. Alle Roboter tauschen dabei ihr Wissen über die Welt aus, so dass ein »kollektives Gedächtnis« entsteht – auch als *Crowd-Sensing* bezeichnet.

In der Lehre bilden wir diese sehr spannende und hochaktuelle Thematik im Rahmen unseres Masterstudiengangs *Navigation und Umweltrobotik* ab. In der Forschung gelang kürzlich die Einwerbung des Graduiertenkollegs *i.c.sens – Integrität und Kollaboration in dynamischen Sensornetzwerken*.

Nachfolgend sind drei Beispiele unserer aktuellen Forschungsarbeiten skizziert.

Autonom fahren dank hochgenauer Karten

Die heute verwendeten Karten für Fahrzeugnavigationssysteme sind für zukünftige, automatisierte und autonome Fahrzeuge nicht ausreichend. Für diese wird eine hochaufgelöste, fahrspurgenaue Karte benötigt, welche die genaue Planung der Fahrstrecke (Solltrajektorie) erlaubt, sowie eine Merkmalskarte, welche Objekte enthält, die eine hochgenaue und zuverlässige Eigenlokalisierung ermöglichen. Um diese Karten aktuell zu halten, ist man auf die Daten der Nutzer angewiesen. Hierzu verfügen zukünftige Fahrzeuge über Bild-, Radar-, Laserscanning- und Ultraschallsensoren, deren Messungen an zentrale Server geschickt werden. Dort werden sämtliche Messwerte unter Berücksichtigung ihrer Fehler zu einer Gesamtkarte fusioniert.

Ein Experiment hierzu haben wir in Hannover Badenstedt durchgeführt (*Abbildung 1*). Über einen längeren Zeitraum hinweg haben wir Teile des Gebiets mit unserem Mobile Mapping Fahrzeug befahren, welches über Laserscanning-Sensoren verfügt. Dadurch sind 150 einzelne »Scanstreifen« entstanden, die insgesamt mehr als eine Milliarde 3D-

Punkte enthalten. Während die Einzelmessungen relativ zum Fahrzeug sehr genau sind (etwa ein Zentimeter), ist die Position des Fahrzeugs selbst relativ ungenau (einige Dezimeter). Die Fusion hat die Aufgabe, alle individuellen Scanstreifen zu einer konsistenten, globalen Karte zu verrechnen.

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt vor und nach der Berechnung. *Abbildung 3* zeigt den Detailreichtum und die (lokale) Genauigkeit, die mit dem Verfahren erreicht werden können. Insgesamt wurden etwa eine Milliarde Beobachtungen verwendet, um 278.000 Unbekannte zu berechnen. Eine Besonderheit

dabei ist die Organisation des Lösungsalgorithmus, der als *MapReduce* (ein *Big Data* Standardverfahren) ausgeführt ist. Dadurch skaliert der Algorithmus linear in der Größe der Szene und lässt sich auf beliebig viele Rechner verteilen.

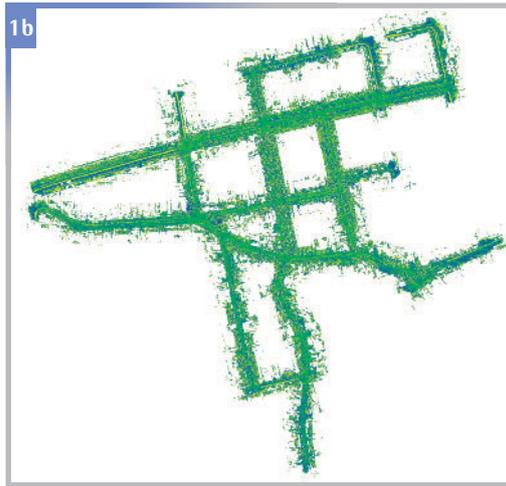


Abbildung 1
Testgebiet in Badenstedt. Links die vom Fahrzeug zurückgelegten Trajektorien, rechts die dabei entstandene Punktwolke mit über 1 Mrd. Punkten.

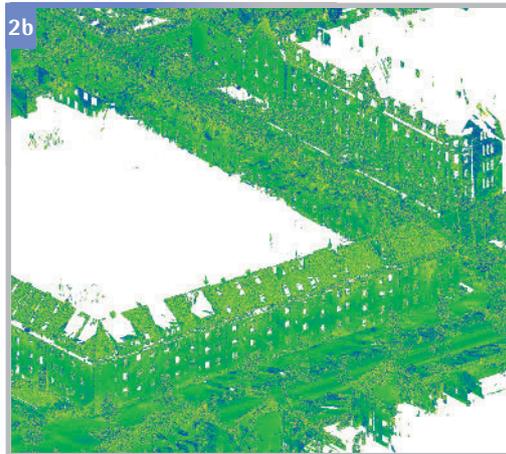
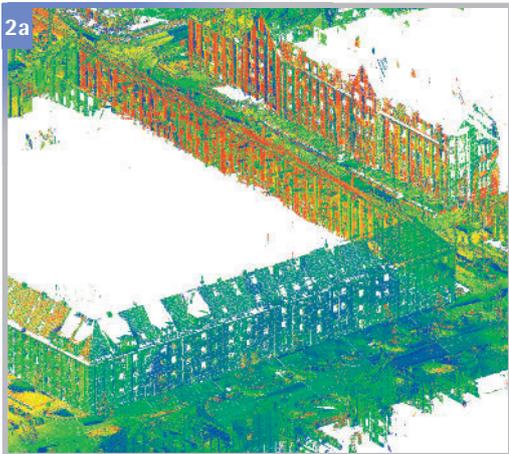


Abbildung 2
Teilszene von Badenstedt, Temperaturskala (blau – cyan – grün – gelb – rot). Links: vor der Ausgleichung 0 mm (blau) – 100 mm (rot), rechts: nach der Ausgleichung 0 mm (blau) – 7 mm (rot).



Auch wenn die Daten »normaler« Fahrzeuge nicht die Qualität unserer Mobile Mapping Daten aufweisen werden, führt dieses Experiment doch zu zwei wesentlichen Erkenntnissen. Erstens, dass die Ausgleichung beliebig großer Gebiete möglich ist und zweitens, dass die schiere Redundanz der Messungen es erlaubt, Karten in einer nie dagewesenen Dichte und Genauigkeit zu erstellen.

Abbildung 3
Ausschnitt der zentral berechneten Kartenrepräsentation. Deutlich zu erkennen sind die unterschiedlichen Oberflächen des Straßenbelags, der Gehwegplatten, sowie der Steine vor dem Gebäude.

Gefahren vermeiden dank kollektiver Erfahrung

Neben der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Lokalisierung und Routenplanung fallen dem Fahrzeug während des autonomen Fahrens noch weitere Aufgaben zu, die für einen normalen Fahrer selbstverständlich sind. Als Mensch

fahrungswerten. Ein Ziel unserer Forschung ist es, solche Erfahrungswerte autonomen Fahrzeugen in Form von *Gefahrenkarten* zur Verfügung zu stellen.

Die Detektion von Fußgängern und Fahrradfahrern ist ein wichtiger Bestandteil autonom fahrender Fahrzeuge. Ver-

erstellen, welche als Vorinformation allen Teilnehmern zur Verfügung steht.

In unserem Fall haben wir Daten mehrerer Messfahrten unseres Mobile Mapping Systems verwendet. Die Unterscheidung der Fußgänger und Fahrradfahrer von anderen Objekten erfolgt durch ein

Abbildung 4
Detektierte Fußgänger und Fahrradfahrer (linkes Bild, rot) werden in eine Gefahrenkarte eingetragen (rechtes Bild, Hintergrundkarte: Google Earth). Die roten Bereiche in der Karte zeigen Orte mit einem besonders hohen Gefahrenpotenzial an.

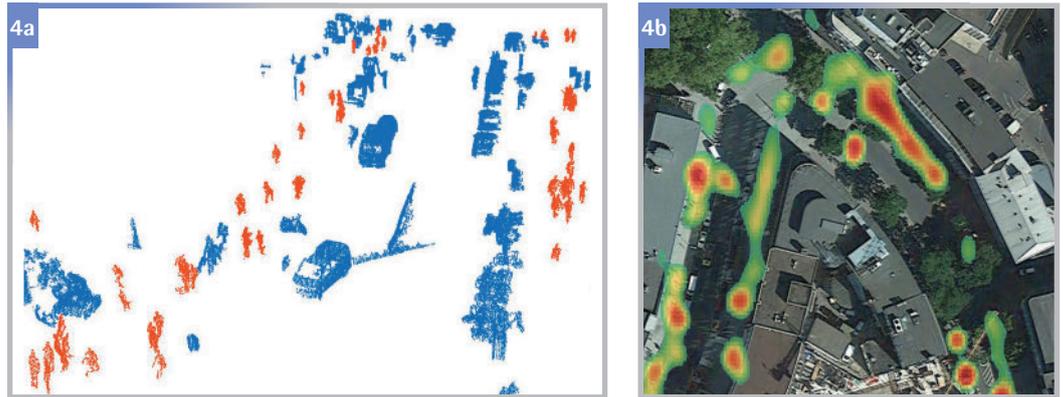
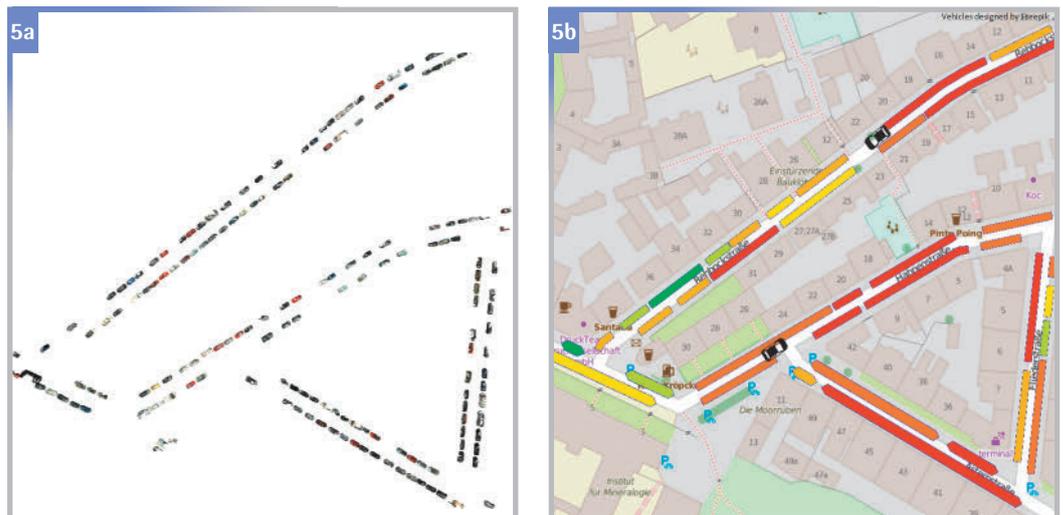


Abbildung 5
Vogelperspektive auf die detektierten Fahrzeuge (linkes Bild) aufgezeichnet mit dem Mobile Mapping Fahrzeug und beispielhafte Darstellung einer dynamischen Parkplatzkarte (rechtes Bild). Die farblich markierten Bereiche stellen Parkflächen dar mit den Farben von Grün (alle Parkplätze frei) bis Rot (alle Parkplätze belegt).



passen wir unser Fahrverhalten der Umgebung an. So fahren wir in Straßen, in denen mit einem hohen Fußgänger- und Fahrradfahreraufkommen zu rechnen ist, weitaus vorsichtiger als auf großen Umgehungsstraßen. Wir können auch die Gefahr einschätzen, dass Fußgänger unsere Fahrbahn kreuzen, um die Straßenseite zu wechseln. All diese für uns intuitiven Gefahreinschätzungen beruhen auf Er-

schiedene Sensoren, wie Kameras oder Laserscanner, erfassen die Umgebung und können sich bewegende Objekte detektieren und deren Bewegungsrichtung bestimmen. Bisher wurden die so gewonnenen Daten nur direkt vom jeweiligen Fahrzeug verwendet, um Unfälle zu verhindern. Jedoch kann auch hier der Crowd-Sensing Ansatz verwendet werden, um kollektiv eine Gefahrenkarte zu

Klassifikationsverfahren, welches zuvor mit Beispielen trainiert wurde.

Alle detektierten Fußgänger und Fahrradfahrer werden anschließend in einer Karte aggregiert (Abbildung 4) und jeweils entsprechend ihrer Distanz zur Straße gewichtet – je näher, desto gefährlicher. Treten in bestimmten Gebieten viele Fußgänger und Fahrradfahrer auf, so ist an dieser Stel-

le der Wert der Gefahrenkarte besonders hoch und autonome Fahrzeuge können an diesen Orten ihr Fahrverhalten entsprechend anpassen.

Schneller zum freien Parkplatz

Auch bei der Parkplatzsuche kann Crowd-Sensing hilfreich sein. In vielen Städten herrscht regelmäßig Parkplatznott. Autofahrer finden keinen Parkplatz an ihrem Ziel und gehen auf die Suche nach einer Parklücke in der Umgebung. Ein Ansatz zur Reduktion dieses »Parkplatzsuchverkehrs« sind *dynamische Parkplatzzkarten*. Solche Karten beinhalten einerseits Informationen, an welchen Stellen man im Straßennetz parken darf und andererseits eine Schätzung der Verfügbarkeit von freien Parkplätzen. Während sich die Parkerlaubnis nur selten (beispielsweise durch Bauarbeiten) ändert und damit eine geringe Dynamik aufweist, ist die aktuelle Parkplatzverfügbarkeit eine hochdynamische Information mit Änderungen im Minutentakt.

Zukünftig könnten diese dynamischen Parkplatzzkarten in Navigationssysteme integriert werden. Aktuelle Änderungen der Karte werden dabei über das Mobilfunknetz übertragen. Ähnlich wie bei Informationen zur aktuellen Verkehrslage kann das Navigationssystem dem Fahrer dann die Auslastung von



Apl. Prof. Dr. Claus Brenner
 Jahrgang 1967, ist seit 2010 außerplanmäßiger Professor am Institut für Kartographie und Geoinformatik. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Fusion und Interpretation von räumlichen Daten. Kontakt: claus.brenner@ikg.uni-hannover.de

Parkstreifen anzeigen (*Abbildung 4*) und eine Route vorschlagen, auf der man eine hohe Chance auf einen freien Parkplatz hat.

Für die Erfassung der aktuellen Parkplatzsituation existieren verschiedene Lösungen: statische Sensoren, Smartphone-Anwendungen und – als derzeit vielversprechendste Lösung – die Fahrzeugsensorik. Bei letzterer erfassen moderne, handelsübliche Fahrzeuge die Parkplatzbelegung am Straßenrand während der Fahrt mittels Ultraschallsensoren oder Kameras. Die Positionen der detektierten Parklücken oder



Dipl. Phys. Fabian Bock
 Jahrgang 1987, ist seit 2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kartographie und Geoinformatik und arbeitet im DFG-Graduiertenkolleg SocialCars. Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der automatischen Generierung von dynamischen Parkplatzzkarten. Kontakt: fabian.bock@ikg.uni-hannover.de

parkenden Autos werden an einen Backend-Server übertragen, dort aggregiert und anschließend an andere Fahrzeuge weitergegeben.

In unserer Forschung beschäftigen wir uns damit, wie man dynamische Parkplatzzkarten aus den so gewonnenen Sensordaten mit Hilfe von Verfahren des maschinellen Lernens generieren kann. Ein Schwerpunkt ist dabei die Vorhersage der Parkplatzverfügbarkeit in naher Zukunft anhand von aktuellen und historischen Messwerten sowie weiteren Einflussfaktoren wie der Tageszeit oder benachbarten Gebäuden.



M.Sc. Alexander Schlichting
 Jahrgang 1986, ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kartographie und Geoinformatik. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Lokalisierung selbstfahrender Fahrzeuge mit Hilfe von Laserscan-Daten. Kontakt: alexander.schlichting@ikg.uni-hannover.de



HANNOVER

20 Jahre Partner-Hotel der Leibniz Universität Hannover

42 moderne Zimmer ■ **Gute Anbindung zu allen Fakultäten!**

UNI-Sonderpreise:	■ Classic Einzelzimmer	72,00 Euro
	■ Classic Einzelzimmer Garten	79,00 Euro
	■ Doppel-/Zweibettzimmer	98,00 Euro
	■ Inklusive Vital-Frühstücksbuffet und W-Lan	

Erfragen Sie unsere Gruppenrabatte!

Hotel in Herrenhausen

Markgrafstraße 5
 30419 Hannover
 Tel.: 0511 - 7907 600
 Fax: 0511 - 7907 698
info@hotel-in-herrenhausen.de
www.hotel-in-herrenhausen.de

Sicherheit und Hilfe

VOM INTERAKTIVEN ROBOTERASSISTENTEN ZUR INTELLIGENTEN PROTHESE

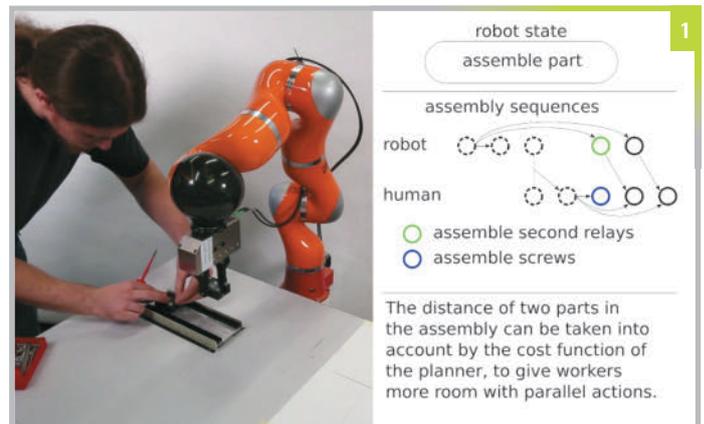
Mit einem robotischen »Kollegen« können zahlreiche Montagearbeiten für den Menschen ergonomischer und leichter werden. Zugleich können diese neuen interagierenden Roboter nicht nur in der Industrie eine große Hilfe sein, die zugrunde liegenden Methoden sind auch für neuartige, intelligente Prothesen von Belang. Zwei Wissenschaftler vom Institut für Regelungstechnik stellen eine Konzeptstudie für eine derartige Prothese vor.

Der sichere und interaktive Roboterassistent

Zur sicheren Kooperation zwischen Mensch und Roboter

Feinfühlig und sensibel mit Menschen interagierende Roboter sind eine Grundvoraussetzung für die Vereinfachung zahlreicher Montageaufgaben. Einerseits erfordern diese Aufgaben eine bisher nur vom Menschen bekannte Flexibilität und hohe Expertise. Andererseits sind diese Aufgaben oft beschwerlich oder gefährlich oder sind nur in Zwangshaltung durchführbar. Mit Hilfe eines robotischen Co-Workers kann die Tätigkeit für den Menschen ergonomischer und weniger belastend gestaltet werden. Neben einer robusten Erkennung von Kontakten zwischen dem Menschen und dem Roboter muss dabei auch eine Klassifizierung dieses Kontakts erfolgen: Handelt es sich um einen beabsichtigten Kontakt, beispielsweise während einer gemeinsamen Montageaufgabe, oder liegt eine Kollision vor, auf die der Roboter mit einem geeigneten Reflex reagieren muss, um jede Verletzung des Menschen auszuschließen?

Neben der Kollisionserkennung stellt die Gewährleistung einer aus biomechanischer Sicht sicheren Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters eine weitere Maßnahme dar, um den Menschen vor Verlet-



zungen zu schützen. Aus der aktuellen Konfiguration des Roboters, dem gerade montierten Werkzeug sowie den möglichen Kollisionspunkten mit einem sich im Arbeitsraum des Roboters befindlichen Menschen wird aus einer Verletzungsdatenbank die Geschwindigkeit ausgelesen, die unter den gegebenen Randbedingungen für den Menschen sicher ist und keinerlei Gefahr darstellt.

Intelligente Aufgabenplanung und -verteilung

Neben der Gewährleistung einer unter allen Umständen für den Menschen sicheren Kooperation zwischen Mensch und Roboter stellt die Planung der kooperativ zu lösenden Aufgabe eine weitere Herausforderung dar. Diese Planung sollte einerseits leicht anwendbar und andererseits flexibel sein und verschiedene Optimierungskriterien zur

Verfügung stellen. *Abbildung 1* zeigt die Kollaboration eines Leichtbauroboters mit einem Menschen, basierend auf einer am IRT entwickelten Aufgabenplanung, die explizit eine Einbindung von Interaktionen zwischen Mensch und Roboter sowie verschiedene Optimierungskriterien gestattet.

Das Konzept der Aufgabenplanung beinhaltet drei Levels. Der Planer auf Team-Level verteilt die Unteraufgaben an die einzelnen Kooperationspartner (Agenten) unter Berücksichtigung verschiedener Kosten-Metriken. Der Kompetenz-Planer auf Agenten-Level übersetzt abstrakte Unteraufgaben in eine Sequenz bekannter Fertigkeiten. Die Ausführungsplanung auf Fertigkeiten-Level erstellt schließlich die konkrete Bewegungsplanung und -regelung. Neben der reinen Abarbeitung der so geplanten Aufgabe muss darüber hinaus noch die

Möglichkeit einer Kommunikation zwischen Mensch und Roboter möglich sein, beispielsweise um den Roboter zwischenzeitlich pausieren zu lassen, wenn eine Teilaufgabe unvorhergesehen mehr Zeit in Anspruch nimmt. Da die für Mensch-Roboter Kollaborationen in Frage kommenden Roboter eine große Feinfühligkeit aufweisen müssen, kann diese auch genutzt werden, um die in Frage kommenden Befehle über Berührungen an den Roboter zu kommunizieren. Für diese Form der Interaktion wird am IRT momentan eine eigene haptische Sprache entwickelt.

Autonomes Lernen von Grundfertigkeiten

Nicht alle von einem Roboterassistenten zu beherrschenden Grundfertigkeiten wie einfache Fügearbeiten (zum Beispiel Bolzen in Bohrung), Verschraubungen fixieren und lösen, Bohren, etc. können vorab einprogrammiert sein, da dieses die Flexibilität erheblich einschränken würde. Stattdessen sollte der Roboter in der Lage sein, sich neue Aufgaben nach Vorgabe der Randbedingungen und der Erfolgsmetriken mit Hilfe von Methoden des Maschinellen Lernens eigenständig zu erschließen. Dabei werden die Parameter der zu lernenden Fertigkeit wie beispielsweise Steifigkeit des Roboters oder Kontaktkräfte mit der Umgebung solange verbessert, bis das zuvor festgelegte Gütemaß einen bestimmten Wert erreicht hat. Der Roboter ist somit in der Lage, neue Grundfertigkeiten in kürzester Zeit zu erlernen und kann diese über eine Cloud mit anderen Robotern teilen.

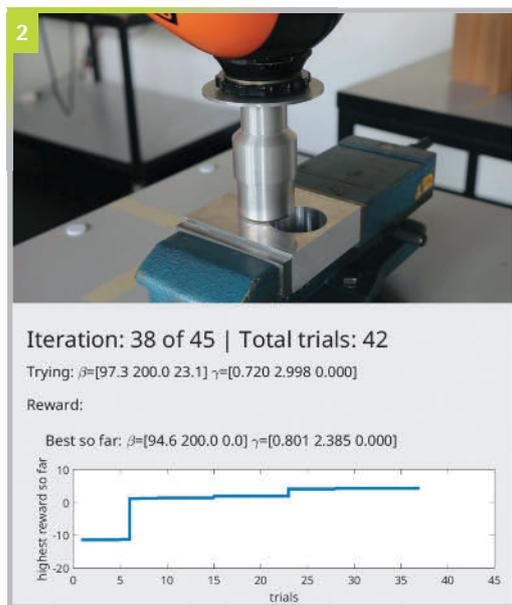
Abbildung 2 stellt einen Lernvorgang für die Fertigkeit des Fügens eines Bolzens in eine Bohrung dar. Nach bereits fünf Versuchen hat sich das Gütemaß erheblich verbessert,

nach 23 Versuchen ist das optimale Gütemaß bereits nahezu erreicht.

Die für die oben aufgeführten Eigenschaften erforderlichen Methoden und Technologien, die einen Roboter befähigen, in direkter Interaktion mit dem Menschen zu agieren, lassen sich nun auch in weiteren Bereichen und Anwendungen des menschlichen Umfelds, wie beispielsweise

betroffener Menschen führen können. Mit Hilfe einer neuartigen, intelligenten Prothese sollen Teile verlorengegangener Fähigkeiten wiedererlangt und Tätigkeiten verrichtet werden können, die aufgrund körperlicher Einschränkungen nicht mehr selbst ausführbar waren. Die unter anderem über EMG-Sensoren gesteuerte, feinfühligere Prothese soll fehlende Autonomie im Alltag signifikant erhöhen.

Dies gilt aber nicht nur für unsere moderne Gesellschaft, sondern insbesondere auch für Krisenregionen. Hier haben betroffene Menschen in der Regel nicht einmal Zugang zu rein mechanischen, funktionell extrem eingeschränkten Prothesen und die dortigen Lebens-,



für neuartige Assistenzsysteme und Prothesen, nutzen.

Die intelligente Prothese

Nutzung moderner Robotik-Technologie für neuartige Prothesen

Die in der Soft-Robotik eingesetzten Methoden und Technologien erlauben die Entwicklung intelligenter und neuartiger Prothesen, die nie dagewesene Möglichkeiten eröffnen, schwerkranken oder in ihrer Motorik eingeschränkten Menschen Unterstützung zu bieten. Das IRT arbeitet an innovativen Technologien, die in Zukunft zu einer signifikanten Verbesserung der Lebensumstände

Arbeits-, und im schlimmsten Fall auch Kriegszustände erfordern bezahlbare Lösungen. Deshalb ist es das Ziel des Teams am IRT, weitaus fähigere, flexiblere und intelligentere Prothesen als die heutzutage verfügbaren zu entwickeln und gleichzeitig deren Preis drastisch zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, werden modernste und vor allem kostengünstige Methoden aus der Soft-Robotik auf die Konzeption intelligenter Prothesen übertragen. Basierend auf der technischen Nachahmung des menschlichen Tastsinns sowie seiner Nachgiebigkeit und der Fähigkeit protektiver Reflexe, werden nun Prothesen mit neuartigen Fähigkeiten ausgestattet, um den Benutzerinnen und Benutzern nicht nur mehr

Abbildung 1
Sichere Zusammenarbeit von Mensch und Roboter nach einer optimierten Aufgabenplanung

Abbildung 2
Eigenständiges Lernen neuer Fertigkeiten durch einen feinfühligeren Roboter



Prof. Dr.-Ing. Sami Haddadin
 Jahrgang 1980, ist Professor und geschäftsführender Leiter des Instituts für Regelungstechnik. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Regelungstechnik, Robotik, Sichere Mensch-Roboter-Interaktion, Neuromotorikontrolle sowie Maschinelles Lernen. Kontakt: sami.haddadin@irt.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Torsten Lilge
 Jahrgang 1966, ist Oberingenieur am Institut für Regelungstechnik. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Nichtlineare Regelungssysteme und Beobachter. Kontakt: lilge@irt.uni-hannover.de

Anwendungsmöglichkeiten zu bieten, sondern auch die Benutzung drastisch zu vereinfachen.

Im Rahmen des von der EU geförderten Forschungsprojekts SoftPro erfolgt unter anderem die Erforschung von Synergien des menschlichen Bewegungsapparats. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich für die Vereinfachung von Prothesen nutzen, um mit wenigen Aktoren eine relativ hohe Zahl an Bewegungsfreiheitsgraden sinnvoll anzusteuern.

Um die Feinfühligkeit der Prothese auch für die Anwenderinnen und Anwender nutzbar zu machen, werden derzeit verschiedene Ansätze für eine Rückkopplung von Kontakt- und Kraftinformationen der Prothese an den Anwenderinnen und Anwendern untersucht und evaluiert. Das für den Roboterassistenten in Entwicklung befindliche Erlernen von Grundfertigkeit und deren Austausch über eine Cloud soll auch den zukünftigen Prothesen zu einem sehr hohen Maß an Flexibilität verhelfen.

Konzeptstudie für neuartige Prothese

Als Konzeptstudie für eine derartige Prothese hat das Team des IRT das Hand/Arm-System μ Limb entwickelt und auf der Hannover Messe im April 2016 präsentiert. Das System ist nachgiebig geregelt und verfügt über eine Kollisionserkennung, die bei ungewollten Kontakten dafür sorgt, dass das System nur noch sein Eigengewicht kompensiert und ansonsten keine Kräfte mehr auf die Umgebung ausübt.

Die Steuerung des Systems erfolgt über ein kostengünstiges, handelsübliches EMG-

Armband mit integrierten Beschleunigungssensoren, das am Oberarm getragen wird. Die EMG-Sensoren des Armbands registrieren die Aktivitäten des Beuge- (Bizeps) und Streckmuskels (Trizeps), die für die Bewegungen des Hand/Arm-Systems ausgewertet werden. Das System verfügt zurzeit über drei Bewegungsmöglichkeiten: Ellbogen (beugen und strecken), Handgelenk (drehen links und rechts) sowie die Hand selbst (schließen und öffnen). Damit ergeben sich deutlich mehr Bewegungsmöglichkeiten als mit der Ansteuerung über Bizeps und Trizeps möglich sind. Als Lösung werden die Freiheitsgrade sequentiell angesteuert, das heißt die gleichzeitige Anspannung von Bizeps und Trizeps schaltet zwischen den einzelnen Freiheitsgraden um. Die beiden Bewegungsrichtungen des ausgewählten Freiheitsgrades werden dann über die jeweilige Aktivität von Bizeps beziehungsweise Trizeps ausgewählt.

Das System verfügt über eine im 3D-Druckverfahren hergestellte und über Seilzüge angesteuerte Hand. Die Nachgiebigkeit der Hand ermöglicht das Greifen von Gegenständen mit nahezu beliebiger Form.

Abbildung 3
 Das Hand/Arm-System μ Limb als Konzeptstudie für eine zukünftige feinfühligke Prothese basierend auf Konzepten neuartiger Assistenzroboter in Verbindung mit Commodity-Technologien (hier Lowcost-EMG-Sensorik)



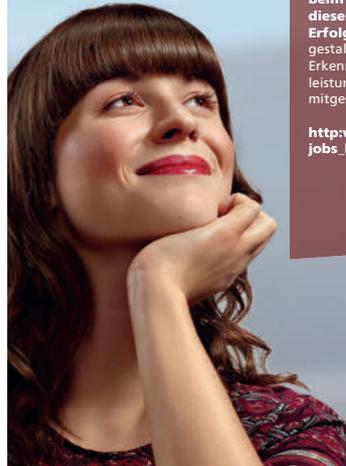
Teile der Forschung an der Prothese wurden von der EU im Rahmen des Projekts SoftPro (GA 688857) gefördert.

FÜR DIE WISSENSCHAFT LEBEN
UND GLEICHZEITIG DIE WIRTSCHAFT
ANKURBELN GEHT NICHT.

DOCH.

Beim Fraunhofer IPA in Stuttgart ist genau dieses Spannungsfeld der Schlüssel zum Erfolg. Nur wer neue Wege geht, kann Zukunft gestalten. Bei uns setzen Sie wissenschaftliche Erkenntnisse in anfassbare Produkte und Dienstleistungen um. Wie möchten Sie die Gesellschaft mitgestalten?

[http://www.ipa.fraunhofer.de/
jobs_karriere.html](http://www.ipa.fraunhofer.de/jobs_karriere.html)



**WIE VERSTEHEN
ROBOTER
MEHR ALS NUR
NULLEN UND EINSEN?**

Jetzt
auf eine von
200 Stellen
bewerben.

Entwickle mit uns die Bundeswehr der Zukunft:
als Offizier und IT-Student (m/w)

Mach, was wirklich zählt: bundeswehrkarriere.de

PROJEKT
DIGITALE
KRÄFTE

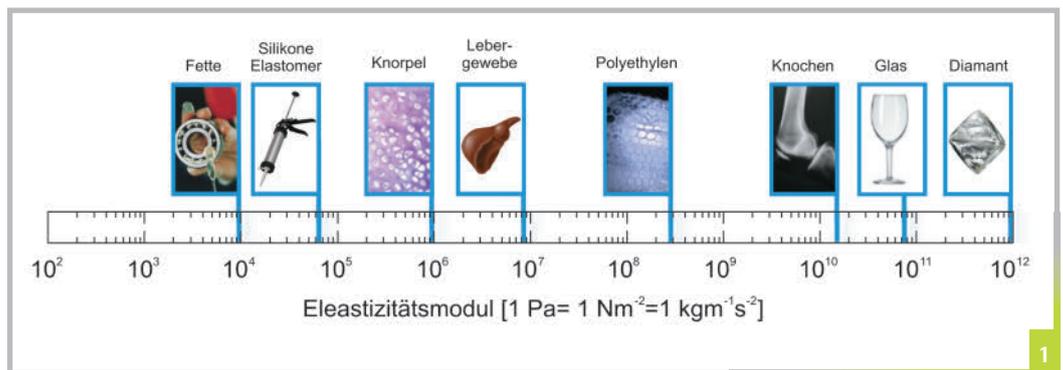


Soft Robotics

DIE »WEICHEN« FÜR DIE ZUKUNFT

Anpassungsfähig, flexibel, sicher: Die neuen, so genannten Soft-Robots vereinen mechanische Komponenten und weiche Materialien wie Silikon zu einem ganz neuen Gemisch.

Im Fokus stehen dabei die Nachgiebigkeit und Verformbarkeit der Struktur. Am Forschungszweig der Soft Robotics sind mehrere Disziplinen beteiligt, darunter die Materialwissenschaften, die Ingenieurwissenschaften und die Informatik sowie die Biologie. Wissenschaftlerinnen vom Institut für Montagetechnik an der Fakultät für Maschinenbau bieten einen Einblick in ihre Forschungsarbeit.



Bisher hatten in Filmen gezeigte Szenen, in denen Menschen und Roboter gemeinsam auf scheinbar natürliche Weise miteinander interagieren, mit der Realität wenig gemein. Weder furchteinflößende Cyborgs wie der *Terminator* noch niedlich anmutende Kreaturen wie *Wall-E* sind derzeit Bestandteil unseres täglichen Lebens. Stattdessen werden bewusst Barrieren errichtet, um einen unmittelbaren Kontakt zwischen Mensch und Maschine zu verhindern. Auf diese Weise sollen erstere vor den Gefahren, die von autonom agierenden Robotern ausgehen können, geschützt werden. Im industriellen Umfeld zeigen sich diese Barrieren üblicherweise in Form von Schutzzäunen oder speziellen Lichtvorhängen. Doch nicht nur von technischer Seite gesehen bestehen weiterhin Hürden, die es zu überwinden gilt, wenn zukünftige Generationen, wie häufig proklamiert, als so genannte Robotic Natives heranwachsen sollen.

Auch hinsichtlich der rechtlichen Bestimmungen sind entsprechende Anpassungen erforderlich, denen jedoch technische Fortschritte in der Sicherheit zwingend vorangehen müssen.

Abseits von der in Deutschland traditionell stark verankerten Industrierobotik hat sich in den letzten fünf Jahren ein neuer Forschungszweig in der Robotik formiert, der den Weg für eine sicherere Mensch-Maschine-Interaktion ebnen könnte: Anders als bisher werden in der so genannten *Soft (Material) Robotics* robotische und mechatronische Systeme aus weichen Materialien wie Silikonen oder anderen Polymerwerkstoffen erschaffen, die ein höheres Maß an Anpassungsfähigkeit, Flexibilität und nicht zuletzt Sicherheit versprechen. Die Nachgiebigkeit und Verformbarkeit der Struktur sind dabei oberstes Gebot.

Dieses neue Streben nach Weichheit in der Robotik lässt sich aus technischen Gesichtspunkten unter anderem durch die bessere Spannungsverteilung von anschlussfähigen Oberflächen begründen. Demnach verteilen sich mechanische Spannungen lokal umso besser, je größer die Kontaktfläche zwischen zwei sich berührenden Objekten ist. Eine gleichmäßige Spannungsverteilung ermöglicht beispielsweise einem schlangenartigen, verformbaren Roboter sich scheinbar mühelos über unebenes oder gar nachgiebiges Terrain zu bewegen oder einem weichen Medizinroboter durch kleinste Öffnungen zu gleiten, ohne das umgebende Gewebe zu verletzen. Als Maß für die Nachgiebigkeit wird oftmals der *E-Modul* herangezogen. Zwar ist dieser eigentlich nur für den einachsigen Belastungszustand bei geringen Verformungen definiert, nichtsdestotrotz liefert er gute Anhaltswerte für die Steifigkeit der für einen weichen

Roboter zu verwendenden Materialien (vgl. *Abbildung 1*). Um eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Spannungen zu erzielen, sollten die Steifigkeiten der Kontaktpartner möglichst nahe beieinander liegen.

Begünstigt, wenn nicht sogar erst ermöglicht wurde die Entstehung der Soft Robotics von technischen Fortschritten in

Doch nicht allein die Grenzen der verschiedenen Systemkomponenten schwinden in der Soft Robotics allmählich. Es findet auch eine zunehmende Verschmelzung der verschiedenen Teilaspekte, welche zur Erzeugung von komplexen Bewegungsabläufen nötig sind, statt. Diese Sichtweise wird nicht zuletzt von neueren Erkenntnissen aus der Biologie gestützt.

gungssteuerung der einzelnen Tentakel weitestgehend autonom ohne eine direkte Beteiligung des zentralen Nervensystems erfolgen.

Es sind genau diese Anpassungsfähigkeit und Flexibilität von wirbellosen Tieren, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dazu bewegen, Methoden zu entwickeln, mit denen die Eigenschaften von weichen Organismen auf robotische Systeme übertragen werden können. Ließen sich diese Eigenschaften mit technischen Mitteln und Werkzeugen realisieren, so könnten in Zukunft völlig neue Arten von (teil-)autonomen, intelligenten Maschinen erschaffen werden. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Thematik wird die Soft Robotics dabei zu einem Treffpunkt verschiedener Disziplinen, darunter den Materialwissenschaften, den Ingenieurwissenschaften und der Informatik sowie der Biologie. Die hohe Interdisziplinarität ist allerdings zugleich Motor und Bremse des Fortschritts. Einerseits können durch eine Synergie der neusten Erkenntnisse aus den jeweiligen Fachgebieten die in der Soft Robotics verborgenen Möglichkeiten noch vervielfältigt werden. Andererseits setzt dies eine konsequente Zusammenarbeit aller beteiligten Disziplinen voraus. Derzeit stellt das Zusammenwirken der verschiedenen Arbeitsfelder eine der größten Hürden auf dem Weg zur wirklichen Marktreife dar.

Anstatt jedoch mit konventionellen Industrierobotern um ihre Vormachtstellung in den Fertigungslinien der Fabriken dieser Welt zu konkurrieren, werden zukünftige Generationen von weichen Robotern und mechatronischen Systemen wohl eher in neue Anwendungsgebiete vordringen oder bisher automatisierungs-



Abbildung 1
E-Modul verschiedener Materialien als Maß für die Steifigkeit

der Entwicklung flexibler elektronischer und mechatronischer Komponenten. So wurden beispielsweise neue Generationen von pneumatischen Aktoren (*engl.: fluidic elastomer actuators*) (*Abbildung 2*) entwickelt, die im Gegensatz zu ihren Vorgängern, den *pneumatischen Muskeln*, vollkommen ohne harte Materialien auskommen. Auch die Verwendung von hochflexiblen Sensoren zur Erfassung von Dehnungen oder Drücken hat völlig neue Möglichkeiten hinsichtlich des Systemdesigns entstehen lassen. Verglichen mit früheren Generationen von technischen Systemen verschimmen insbesondere bei *soften* mechatronischen Systemen allmählich die Grenzen zwischen Strukturelementen, Aktoren, Sensoren und Elementen der Energie- und Leistungsübertragung (vgl. *Abbildung 3*).

Demnach sind die adaptiven Verhaltensweisen eines Organismus das Resultat eines komplexen und dynamischen Zusammenspiels aus seiner Gestalt (Körper), seiner sensor-motorischen Steuerung (Gehirn, Nervensystem) sowie der durch die Umgebung (Umwelt) gegebenen Randbedingungen.

Nahezu beispiellos in seiner Anpassungsfähigkeit ist der Oktopus, der mit seinen langen Tentakeln unterschiedlichste Objekte greifen oder sich mit seinem hochflexiblen Körper in kleinste Öffnungen zwängen kann. Möglich wird dieses adaptive Verhalten überhaupt erst durch die mechanische Beschaffenheit des Organismus sowie der effektiven Ausnutzung der Umgebungsbedingungen. In diesem Sinne beschränkt sich die »Intelligenz« des Tieres nicht auf ein zentrales Nervensystem, sondern erstreckt sich vielmehr über den ganzen Körper. Dadurch kann die Bewe-

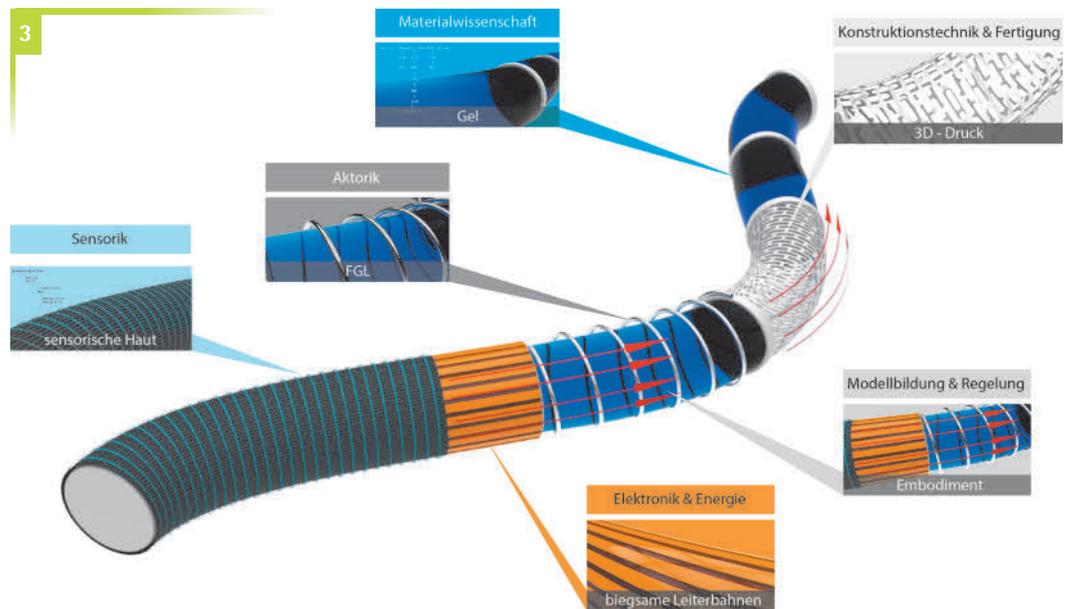
Abbildung 2
Fluidische-Elastomer-Aktor, gefertigt aus Silikon

technisch wenig erschlossene Nischen besetzen. Die Stärken von soften Robotern sind vor allem ihre Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, die ihnen wiederum ein höheres Maß an

schalteten pneumatischen Aktoren (vgl. *Abbildung 2*), die sich jeweils in drei Raumrichtungen krümmen können. Ähnlich wie der Oktopus kann der STIFF-FLOP seine

schiedensten Gegenstände gegriffen und transportiert werden. Dies spart sowohl Kosten für die Entwicklung von komplexen Greifmechanismen als auch Zeit für auf-

Abbildung 3
Kernthemenfelder der Soft Robotics



Sicherheit und Robustheit verleihen. Für hochpräzise oder kraftintensive Anwendungen sind sie aufgrund der physikalischen Gegebenheiten hingegen weniger geeignet.

Zu den Anwendungsfeldern, die aller Voraussicht nach am meisten von den Fortschritten in der Soft Robotics profitieren können, gehören daher die Medizintechnik und Rehabilitation, die Service-Robotik sowie die Explorations- und Inspektionsrobotik. Je nach Anwendung ist auch der Einsatz in der Landwirtschaft und in der industriellen Fertigung sinnvoll und realisierbar. Das Ergebnis eines der wissenschaftlich am weitesten fortgeschrittenen und einflussreichsten Projekte ist der so genannte *STIFF-FLOP*, ein weicher Manipulator für minimal-invasive chirurgische Eingriffe, der die Bewegungsmuster des Oktopus' zu imitieren sucht. Der Aufbau besteht aus mehreren hintereinander ge-

Steifigkeit aktiv verändern, wodurch er sich je nach Situation besser an das umliegende Gewebe anpassen kann oder alternativ seine Widerstandsfähigkeit gegenüber einwirkenden Kräften erhöht. Technisch realisiert wird die Steifigkeitsadaption durch das Ziehen eines Vakuums in einer mit einem Granulat gefüllten Kammer. Im täglichen Leben ist das Phänomen der Steifigkeitsvariation von Granulaten vor allem durch vakuumierte Kaffeepackungen bekannt.

Ein weiteres Beispiel, wo dieser Effekt ausgenutzt wird, ist der so genannte *Universal Jamming Gripper*, der mittlerweile von der Firma Empire Robotics unter dem Namen Versaball kommerziell vertrieben wird. Während bei industriellen Anwendungen oftmals die Greifergeometrie an das jeweilige zu handhabende Objekt angepasst werden muss, kann mit dem Versaball eine Bandbreite der ver-

wändige Rüstvorgänge. Dass sogar empfindliche Produkte in der Lebensmittelindustrie mit den Lösungen der Soft Robotics gehandhabt werden können, zeigen die weichen Fingergreifer der Firma Soft Robotics. Ebenfalls pneumatisch betrieben, umschließen die einzelnen Finger unter Druckbeaufschlagung sanft die zu greifende Objekte wie beispielsweise Tomaten.

Neben den zwei vorigen Beispielen lässt sich eine ganze Reihe weiterer interessanter Arbeiten nennen, die derzeit noch im Forschungsstadium sind. Potenzielle soft-robotische Systeme können unter anderem wendige Fischroboter für die Inspektion von Rohren oder Pipelines sein, anschießbare Exoskelette zur Unterstützung des Menschen bei Aufgaben in der Pflege oder industriellen Montage sowie robuste Schlangenroboter für den Einsatz in der Landwirtschaft.



**Dipl.-Wirtsch.-Ing., M.Sc.
Gundula Runge**

Jahrgang 1982, Studium des Wirtschaftsingenieurwesens/ Maschinenbau an der TU Braunschweig und des Maschinenbaus am Georgia Institute of Technology ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Montagetechnik. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Design, der Modellierung und Regelung von soften Robotern. Kontakt: runge@match.uni-hannover.de



Assoc. Prof. Dr. Pinar Boyraz

Jahrgang 1981, Studium des Maschinenbaus und Promotion zum Thema »Active Vehicle Safety and Control« an der Loughborough Universität, Groß Britannien. Sie ist Gründerin einer Arbeitsgruppe an der Technischen Universität Istanbul, die sich mit modularen Robotern und Service-Robotern beschäftigt. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Entwicklung mechatronischer Systeme, hierbei insbesondere auf der Rehabilitation und Medizintechnik. Kontakt: boyraz@mzh.uni-hannover.de



Prof. Dr. Annika Raatz

Jahrgang 1971, Studium des Maschinenbaus und Promotion zum Thema Stoffschlüssige Gelenke aus pseudo-elastischen Formgedächtnislegierungen in Parallelrobotern an der TU Braunschweig, leitet seit 2013 das Institut für Montagetechnik. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der robotergestützten Montage, hierbei insbesondere auf der Entwicklung und Modellierung von Maschinenkonzepten und -komponenten sowie der Gestaltung von automatisierten Montageprozessen. Kontakt: raatz@match.uni-hannover.de

Bis die in Filmen aufgezeigten Visionen von Robotern als menschenfreundlichen Unterstützern und Helfern in allen Lebenslagen tatsächlich Wirklichkeit werden, werden sicherlich noch einige Jahre vergehen. Mit der Soft Robotics sind jedoch die ersten Weichen in Richtung mehr Sicherheit und Anpassbarkeit gestellt, die zu einem weitreichenderen Einsatz der Robotik führen können.

STELLENANZEIGEN
Aufrufen & bewerben

Traum erfüllt Job gefunden

Als Technologieunternehmen suchen wir derzeit Softwareentwickler, IT-Fachkräfte und Informatiker. Bewirb Dich jetzt!

Kjellberg®
FINSTERWALDE

Die Unternehmen der
Kjellberg-Stiftung

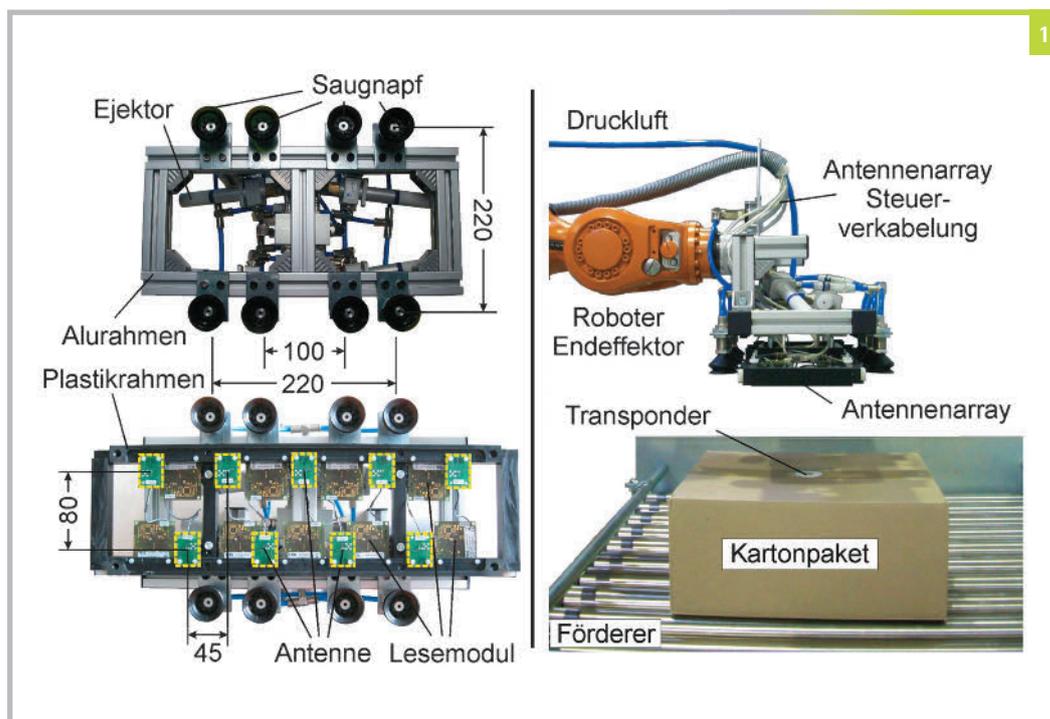
Made in Germany

[.kjellberg.de](http://kjellberg.de)

Schnell und präzise erkennen und bewegen

HANDHABUNGSRBOTER FÜR KOGNITIVE MATERIALFLUSSSYSTEME

Die Entwicklung hin zur Industrie 4.0 bedeutet für viele Unternehmen, dass sie ihre Produktionsprozesse verändern müssen. Am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik arbeiten Wissenschaftler an einem neuen Ansatz zur Positionsbestimmung von Objekten, um den Anforderungen und der Komplexität einer individuell angepassten Produktion gerecht zu werden.



Durch die wachsende Nachfrage nach individuelleren Produkten müssen Unternehmen ihre Produktionsprozesse entsprechend anpassen. Nur eine gleichzeitige Steigerung der Flexibilität und Produktivität, gerade vor dem Hintergrund der Losgrößenreduzierung, ermöglicht es Unternehmen zukünftig, wettbewerbsfähig zu bleiben. Als wesentliche, verbindende Schlüsselkomponente der Produktionskette gelten diese Herausforderungen auch für die Intralogistik. Gegenwärtige Materialflusssysteme sind auf konkrete Szenarien ausgelegt und besit-

zen dementsprechend eine geringe Wandlungsfähigkeit. Die Wandlungsfähigkeit hinsichtlich veränderter Rahmenbedingungen bildet folglich die zentrale Kernkompetenz zukünftiger Intralogistiksysteme. Diese sollte jedoch, vor dem Hintergrund steigender Produktionskosten, nicht durch den Rückgang des Automatisierungsgrades erreicht werden, sondern viel mehr auf Grundlage selbstoptimierender kognitiver Materialflusssysteme. Solche Systeme sind in der Lage, die Potenziale der Industrie 4.0 zu erschließen und gleichzeitig die Intralogis-

tikkosten zu senken, indem der Automatisierungsgrad gesteigert wird, ohne die hohe Wandlungsfähigkeit einzuschränken.

Handhabungsroboter werden in der Industrie eingesetzt, um Tätigkeiten mit hohen Wiederholungsraten schnell und effizient durchzuführen. Solche Systeme sind meistens für einen speziellen Anwendungsfall konzipiert und bei veränderten Rahmenbedingungen nur in geringem Maße steuerungstechnisch wandelbar. Ein entsprechendes Anwendungsszenario ist die Palettierung

von Stückgütern, wie zum Beispiel Pakete: Aufgrund der gleichbleibenden Paketdimensionen bei klassischen, roboter-gestützten Handhabungsprozessen werden keine speziellen Sensorsysteme benötigt. Die Prozesse der mechanischen Vorausrichtung sowie der eigentlichen Handhabung folgen immer demselben Arbeitsmuster. Durch den Komplexitätsanstieg aufgrund veränderter Produktionsprogramme

alternatives Verfahren zur Positionidentifikation von Objekten entwickelt. Die initiale Idee für dieses Vorhaben begründete sich zum einen durch den beschriebenen Bedarf einer individuellen, automatisierten Erkennung der Objektorientierung sowie zum anderen durch den Einzug von Industrie 4.0-Technologien in Unternehmen und dem resultierenden Anstieg des Informationsbedarfs für jedes Objekt (das

kann das Objekt zweifelsfrei identifiziert werden. Zusätzlich können beliebige weitere Daten gespeichert werden, die mittels eines Lesemoduls anschließend ausgelesen und ausgewertet werden können. Die Vorteile dieser Technologie sind folgende: hohe Leseraten, sowie die sehr hohe Speicherkapazität im Vergleich mit zweidimensionalen Barcodes. Darüber hinaus wird zum Auslesen der Informationen keine Sichtverbindung zu dem Objekt benötigt. Waren können beispielsweise direkt durch die Verpackung hindurch identifiziert werden.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, ein Verfahren zur Lageidentifikation von Stückgütern anhand von RFID-Transpondern zu entwickeln. Die zu erzeugende Funktionsemergenz der Transponder soll dazu genutzt werden, auf zusätzliche Sensorsysteme (wie zum Beispiel Kamerasysteme) zu verzichten.

Das entwickelte Verfahren nutzt RFID-Transponder mit einer Frequenz von 13,56 MHz, welche auf dem Paket angebracht sind, um neben dem Paket auch dessen Lage zweifelsfrei zu identifizieren. Die gesamte benötigte Energie für den Betrieb der passiven Transponder wird durch das magnetische Feld des Lesegeräts bereitgestellt. Hierdurch benötigen die Transponder keine eigene Energieversorgung und können folglich sehr kostengünstig verwendet werden. Die ermittelte Lageinformation kann anschließend genutzt werden, um Pakete präzise und vor allem paket-spezifisch mittels eines Roboters zu handhaben. Das Ortungsverfahren macht sich die begrenzte Reichweite der verwendeten RFID-Transponder zu nutze. Bei einem physischen Durchmesser von 38 mm besitzen die verwendeten Transponder einen sphärischen

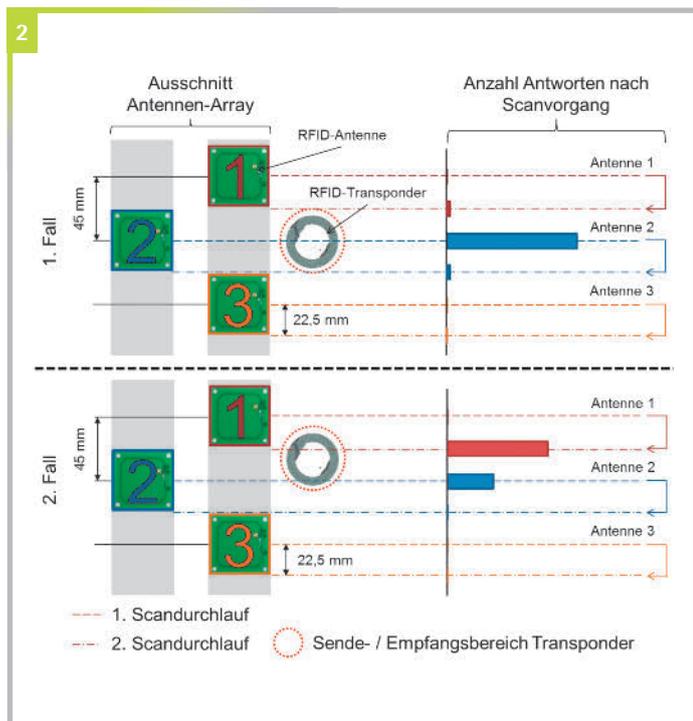


Abbildung 1 Handhabungsvorrichtung mit Antennenarray
Quelle: Bouzakis, A.; Overmeyer, L. (Hrsg.): Positioning of Packaged Goods by Tracking Passive RFID Tags. Berichte aus dem ITA, Bd. 3/2013 – ISBN 978-3-944586-19-9

Abbildung 2 Schematische Darstellung des Scanvorgangs zur Positionsbestimmung eines RFID-Transponders (eigene Darstellung)

und variabler Paketgrößen kann dieses gleichbleibende Arbeitsmuster in kognitiven Materialflusssystemen jedoch nicht gewährleistet werden. Dafür werden zusätzliche Sensorsysteme benötigt, welche eine schnelle und präzise Erkennung der Paketorientierung ermöglichen.

Im Rahmen des DFG-Forschungsvorhabens »Automatische hochgenaue Stückguterfassung und -handhabung anhand elektronischer Marken im Materialfluss« am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik wurde ein al-

teratives Verfahren zur Positionidentifikation von Objekten entwickelt. Die initiale Idee für dieses Vorhaben begründete sich zum einen durch den beschriebenen Bedarf einer individuellen, automatisierten Erkennung der Objektorientierung sowie zum anderen durch den Einzug von Industrie 4.0-Technologien in Unternehmen und dem resultierenden Anstieg des Informationsbedarfs für jedes Objekt (das

heißt zum Beispiel, nicht mehr nur die Information darüber, dass in einem Paket eine bestimmte Ware enthalten ist, sondern auch wann diese Ware erstellt wurde, für wen die Ware bestimmt ist, wie und wann sie ausgeliefert werden soll etc.). Die Radiofrequenz-identifikation (RFID) wird dazu verwendet, die benötigten Informationen in digitaler Form direkt an einem Objekt zu speichern beziehungsweise verfügbar zu machen. Hierzu wird ein RFID-Transponder an dem entsprechenden Objekt befestigt. Durch diese eindeutige Identifikationsnummer

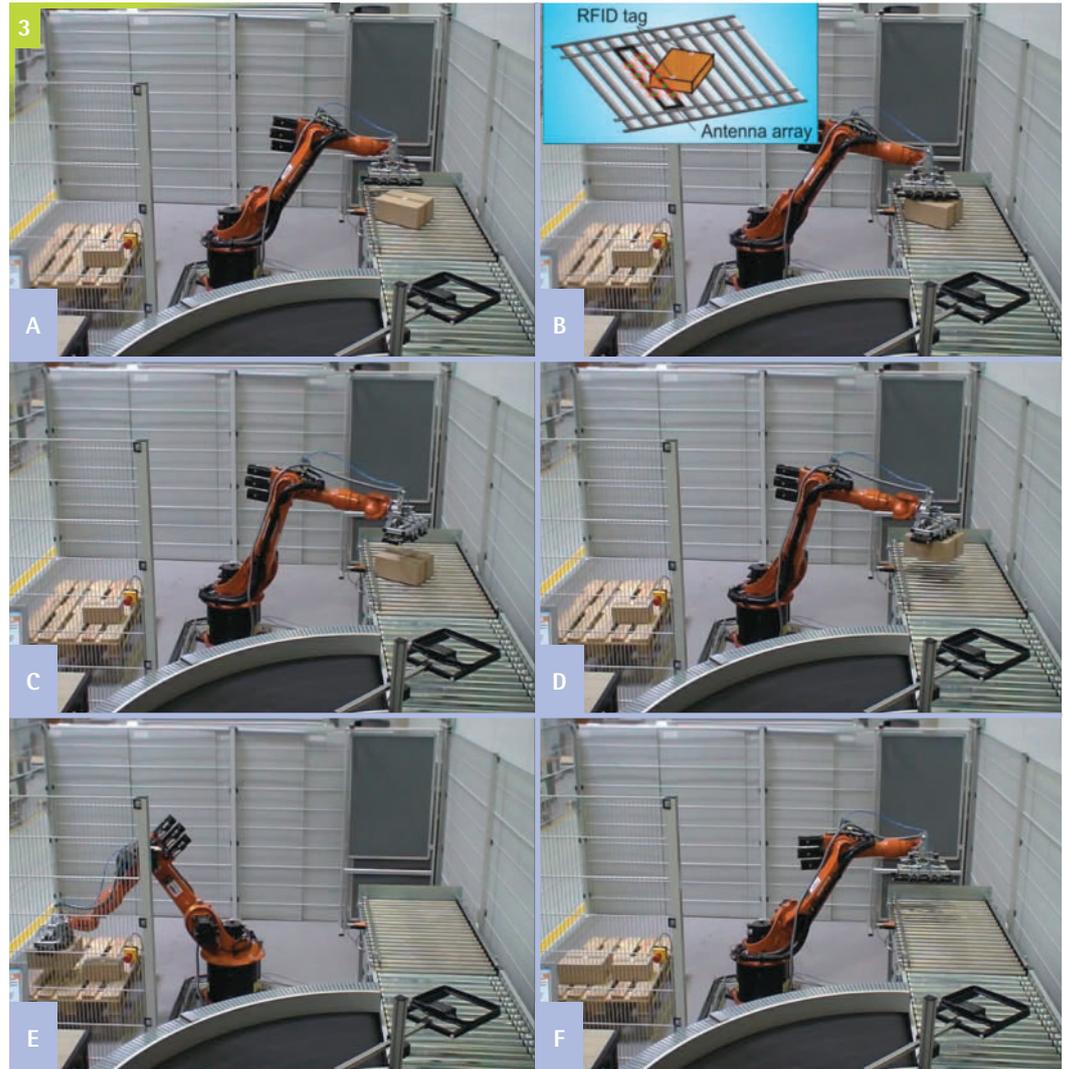
Sendebereich mit einem Durchmesser von 45 mm.

Für die Lageidentifikation werden insgesamt zwei Transponder auf der Oberseite eines Pakets benötigt. Durch Anbringung dieser Transponder auf der Mittelachse des Pakets ist es möglich, über die gedachte, gerade Verbindungslinie zwi-

ser dritte Transponder wird bei der Bestimmung der Paketorientierung nicht berücksichtigt. Zur Handhabung der Pakete ist der Roboter mit einem Vakuumsauggreifer ausgestattet. Abweichend von klassischen Greifvorrichtungen, verfügt die verwendete Vorrichtung zusätzlich über mehrere RFID-Lesegeräte, welche mit-

Das zugrunde liegende Funktionsprinzip ist, dass die Lesegeräte mit einer bestimmten und konstanten Häufigkeit sämtliche Transponder in ihren sich überschneidenden Sendebereichen auffordern, sich durch die Übermittlung ihrer eindeutigen Identifikationsnummern zu identifizieren. Wenn die Antenne eines Lese-

Abbildung 3
Ablauf des automatischen Erfassungs- und Handhabungsprozesses
(eigene Darstellung)



schen den beiden Transpondern die Orientierung des Paketes zu bestimmen. Ein zusätzlicher, dritter Transponder mit einer deutlich größeren Sendereichweite dient zur eindeutigen Identifikation des Pakets sowie der Bereitstellung von Informationen bezüglich der Paketabmessungen, des Gewichts sowie des Zielorts. Die-

tig zwischen den Saugnäpfen platziert sind. Insgesamt sind neun Lesemodule in einem so genannten Antennenarray verbaut. Eine Detailansicht der entwickelten Vorrichtung ist in *Abbildung 1* auf der linken Seite dargestellt. Die rechte Seite zeigt die am Roboter montierte Vorrichtung im entsprechenden Einsatzszenario.

geräts in den Sendebereich eines Transponders geführt wird, antwortet der Transponder entsprechend der Abfräufigkeit mit der Übermittlung seiner Identifikationsnummer. In Abhängigkeit der Verweildauer der Antenne im Sendebereich des Transponders ergibt sich die Anzahl der Transponderantworten. Es ist



Lars Bindszus M.Sc.

Jahrgang 1990, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung innovativer Antriebskonzepte für Gurtförderanlagen sowie das Mitwirken im Industrie 4.0-Kompetenzzentrum am Produktionstechnischen Zentrum Hannover. Kontakt: lars.bindszus@ita.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Jahrgang 1964, ist Leiter des Instituts für Transport- und Automatisierungstechnik. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Automatisierung von Förderanlagen und innerbetrieblichen Transportsystemen sowie die Integration innovativer Sensortechnologien in diese Anlagen. Kontakt: ludger.overmeyer@ita.uni-hannover.de

somit möglich anhand der Kontaktanzahl zu identifizieren, an welcher Stelle die Leseantennen den Sendebereich eines Transponders passiert haben. Die Transponder besitzen eine Reichweite von 45 mm und die Antennen sind versetzt in einem Abstand von 45 mm zu einander in dem Antennenarray positioniert. Bei dieser Antennenabdeckung wäre es folglich möglich, dass ein Transponder exakt zwischen zwei Antennen liegt und nicht erfasst werden kann. Um die benötigte Zuverlässigkeit dieser Methode zu gewährleisten, werden insgesamt zwei Scanvorgänge durchgeführt. Nach dem ersten Vorgang wird das Antennenarray um 22,5 mm orthogonal zur Vorschubrichtung versetzt.

Wird ein Transponder mit diesem Antennenarray überfahren, können zwei unterschiedliche Fälle eintreten. In *Abbildung 2* sind diese beiden Fälle graphisch dargestellt. Im ersten Fall wird der Transponder im ersten Scanvorgang mittig von Antenne 2 überfahren, wodurch die Sende- und Empfangszeit zwischen Transponder und Antenne am größten ist. Die Antenne empfängt eine Vielzahl an Transponderantworten, wohingegen die benachbarten Antennen 1 und 3 aufgrund des zu großen Abstands keine Signale empfangen. Nach dem Versatz um 22,5 mm und dem zweiten Scandurchlauf ist zu erkennen, dass die Antenne 1 den äußersten Sendebereich des Transponders nur tangiert. Dies gilt ebenfalls für Antenne 2.

Im zweiten Fall befindet sich der Transponder zwischen den Antennen 1 und 2. Beim ersten Scandurchlauf ist analog zum ersten Fall nur die Antenne 2 in der Lage, mit dem Transponder zu kommunizieren. Allerdings ist die Anzahl der Kontakte durch die kürzere Strecke im Sendebereich geringer als im ersten Fall. Im zweiten Scandurchlauf empfängt die Antenne 1 deutlich mehr Signale vom Transponder als die Antenne 2 im ersten Durchlauf. Aufgrund der gewonnenen Daten kann die Position des Transponders nun millimetergenau ermittelt werden.

Mit dem Antennenarray wird eine definierte Fläche nach Transpondern abgesucht. Die Breite der untersuchten Fläche wird dabei durch die Breite des Antennenarrays bestimmt und die Länge der Fläche kann mittels des orthogonalen Vorschubs durch den Roboter variabel eingestellt werden. Durch die Kontaktanzahl der einzelnen Transponder mit den Lesegeräten kann durch Kenntnis der Ausgangsposition des Antennenarrays zu Beginn des Scanvorgangs, den Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerten sowie der Anordnung der einzelnen Leseantennen im Antennenarray die Position der jeweiligen Transponder innerhalb der untersuchten Fläche exakt ermittelt werden. In *Abbildung 3* zeigt das *Bild A* die Positionierung des Antennenarrays in einer definierten Höhe zu Beginn des Scanvorgangs. Diese paketindividuelle Höhe wird durch eine vorzeitige Auswer-

tung des dritten Transponders mittels einer zusätzlichen Antenne (rechts im Vordergrund zu erkennen) ermittelt. Im *Bild B* ist der eigentliche Scanvorgang zu erkennen. Der Roboter bewegt das Antennenarray bei gleichbleibender Höhe parallel zur Paketoberfläche über das Paket hinweg. Nach Abschluss des Scanvorgangs kann aus den berechneten Transponderpositionen in der untersuchten Fläche die Orientierung des Pakets ermittelt werden. Zur eindeutigen Lageidentifikation wird lediglich die Verdrehung der Mittelachse zur Vorschubrichtung des Roboters benötigt. Im *Bild C* ist die Ausrichtung nach dem Scanvorgang zu erkennen. Anschließend kann das Paket lagerichtig aufgenommen und gehandhabt werden (siehe *Bilder D* und *E*). Nach Abschluss des Handhabungsprozesses verfährt der Roboter wieder in die Ausgangsposition und ist bereit für das nächste Paket.



IPH

#Super
Forschung

Als Hiwi am IPH
entwickelt Hendrik (24)
völlig neue Werkzeuge.

Auch du kannst am IPH die Produktionstechnik von morgen erforschen. Wenn du Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen oder ein verwandtes Fach studierst, bewirb dich jetzt: Wir bieten praxisnahe Nebenjobs, interessante Praktika und spannende Themen für Abschlussarbeiten. Berufseinsteiger starten bei uns direkt als Projektingenieurinnen und -ingenieure und promovieren zum Dr.-Ing.

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH
Hollerithallee 6 | 30419 Hannover

Alle Jobangebote findest du im Netz:

Unsere Homepage
www.iph-hannover.de/jobs



IPH Hannover
Werde Fan auf Facebook



Jobs_im_IPH
Folge uns auf Twitter

| Produktion erforschen und entwickeln |



Kannegiesser®
TECHNIKPARTNER DER WÄSCHEREI

„Wir sind ein Maschinenbauunternehmen mit 1.600 Mitarbeitern und beliefern weltweit Großwäschereien mit der kompletten Welt industrieller Wäschereitechnik.“

Lukas K. seit 2014 bei Kannegiesser

Softwareentwickler (m/w)

für unsere Standorte Vlotho oder Sarstedt

Ihre Aufgaben

- Entwicklung von Automatisierungssoftware für Förder-technik-/Sortiersysteme im Wäschereibetrieb
- Mitarbeit bei der Weiterentwicklung und Standardisierung von Funktionen unserer Transportkomponenten
- Auslegung von Hardwarekomponenten
- Definition und Entwicklung von Testumgebungen für neue Hardwarekomponenten
- Abstimmung mit Fertigungs- und Entwicklungsbereichen
- Inbetriebnahme von Transportanlagen beim Kunden
- Unterstützung des Kundendienstes

Ihr Profil

- Studium der Elektrotechnik / Automatisierungstechnik oder eine vergleichbare Qualifikation
- Gute Grundlagenkenntnisse der Elektrotechnik
- Englische Sprachkenntnisse
- Teamgeist und gute Kommunikationsfähigkeit
- Freude am eigenverantwortlichen Handeln
- Bereitschaft zur Reisetätigkeit

Profitieren Sie von den Vorzügen eines international aufgestellten Familienunternehmens und lernen Sie die Welt der industriellen Wäschereitechnik kennen.

Haben wir Ihr Interesse geweckt?

Dann freuen wir uns auf Ihre aussagefähigen Bewerbungsunterlagen mit Angabe des frühestmöglichen Eintrittstermins.

Für Rückfragen

steht Ihnen gern Frau Tanja Thiedig unter der Telefonnummer 05733 / 12-8228 zur Verfügung.

Herbert Kannegiesser GmbH Kannegiesserring · 32602 Vlotho · Tel.: 05733/12-0 · Fax: 05733/12-8223
E-Mail: job@kannegiesser.de · www.kannegiesser.de



www.tchibo.com

Ideen. Neu. Gestalten.
Dein Impuls für die Tchibo Welt von morgen!

Noch mittendrin im Studium und Lust darauf, mit deinen Ideen nicht nur deine Dozenten zu bewegen? Dann entscheide dich für ein Praktikum oder einen Werkstudentenjob bei Tchibo! Wir laden dich ein, unser einzigartiges Geschäftsmodell mit seinen hochwertigen Kaffees und wöchentlich wechselnden Produkten zu entdecken – und mit deinen guten Ideen, deiner Nase für Kaffee und das gewisse Extra für Begeisterung (bei Kunden und Kollegen) zu sorgen!

Die Roboterfabrik

ZIELGERECHTE AUSBILDUNG FÜR DIE GENERATION »ROBOTIC NATIVES«

Eine neue Generation von Robotern, die aktuell Einzug in die Industrie hält, erlaubt aufgrund ihrer Feinfühligkeit komplexe, bisher weitestgehend nur manuell durchführbare Tätigkeiten, wie zum Beispiel die Montage, erstmals systematisch zu automatisieren. Darüber hinaus können die Systeme ohne Schutzzäune betrieben werden und geben so dem Menschen ein nie dagewesenes, intelligentes und flexibles Werkzeug an die Hand. Diese Technologie gilt als der zentrale Schritt auf dem Weg zur flächendeckenden Automatisierung und ermöglicht nun nicht nur ein völliges Umdenken in der Produktion bei Großunternehmen, sondern auch den Einsatz in klein- und mittelständischen Unternehmen, in der professionellen Servicerobotik wie dem Healthcare-Bereich und mittelfristig sogar im Heimbereich.

Um dieser generellen Entwicklung und dem damit einhergehenden regionalen wie auch nationalen Bedarf an qualifizierten Fachkräften nachzukommen, haben das Institut für Regelungstechnik und das Institut für Mechatronische Systeme der Leibniz Universität Hannover (LUH) das Konzept der *Roboterfabrik* entwickelt. Dieses von der Region Hannover geförderte Projekt wird in Kooperation mit dem Roberta Regiozentrum, einer Einrichtung, die es Schülerinnen und Schülern ermöglicht, Robotertechnologie kennenzulernen, realisiert. Das Ziel der *Roboterfabrik* ist es, der kommenden, mit der Robotik aufwachsenden Generation (»Robotic Natives«) ein integriertes und durchgängiges Ausbildungsangebot zu bieten, das die Brücke von der Schule bis in die Robotik-Ausbildung an der Leibniz Universität schlägt. Innovative Lehrkonzepte dienen dabei nicht nur der technischen Ausbildung, sondern auch dem Erwerb von Fähigkeiten in den Bereichen Teamwork, Time-Management und Kreativität. Beispielsweise werden zusätzlich zu den Lehrveranstaltungen der beteiligten Institute aus dem Bereich Robotik so genannte »Robothons« durchgeführt, in denen die Studierenden das in der Vorlesung erlangte Wissen in kleinen Teams zur Lösung praktischer Problemstellungen und mit Hilfe moderner Robotertechnologien anwenden.



Abschluss des Robothons zur Vorlesung »Mensch-Roboter-Kollaboration« im Sommersemester 2016. Foto: Institut für Regelungstechnik

Die *Roboterfabrik* dient der gezielten Nachwuchsförderung in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) mit dem Fokus Robotik in der Region Hannover und hat damit das Potenzial, mittelfristig zu einem strategischen Standortvorteil zu werden. Die Lehrmodule der *Roboterfabrik* richten sich dabei sowohl an Studierende der LUH als auch an interessierte Schüler unter dem Dach des Roberta Regiozentrums. Die Lehre fokussiert einerseits die Theorie, entsprechend aufbereitet für die jeweilige Zielgruppe, andererseits das Erlernen praktischer

Kenntnisse in neuester Robotertechnologie und -software. Anwendungsschwerpunkte sind dabei zwei der Schlüsseltechnologien der modernen Robotik: Mensch-Roboter-Kollaboration und Mobile Manipulation.

Die *Roboterfabrik* soll darüber hinaus durch die Kooperation mit führenden Industriepartnern, welche die für die praxisnahen Lehrmodule passenden Systeme bereitstellen, die strategische Verknüpfung von Schule, Universität und Industrie ermöglichen. In einer späteren Phase können die gewonnenen Erfahrungen gemeinsam mit der Industrie- und Handelskammer (IHK) herangezogen werden, um auch neue und attraktive Angebote rund um das Thema Robotik für die niedersächsische Berufsausbildung zu etablieren.

Die Ziele der *Roboterfabrik* lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Übernahme der Vorreiterrolle in der exzellenten Ausbildung in der Robotik sowie die optimale Schulung der neuen »Robotic Natives« Generation in den Bereichen Ingenieurwissenschaften und Informatik. Die *Roboterfabrik* ist somit der erste zentrale Baustein, um Hannover zu einem führenden Robotikstandort zu entwickeln.

Dr.-Ing. Torsten Lilge
Institut für Regelungstechnik

Die Natur als Vorbild

VOM ELEFANTENRÜSSEL ZUM KLEINSTEN KONTINUUMSROBOTER

Klein, gelenklos und flexibel: Kleine tubuläre Kontinuumsroboter können vor allem bei komplizierten medizinischen Eingriffen eine große Hilfe sein. Am Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik widmen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter anderem den Problemen rund um die mathematische Modellierung der Form und der Bewegungen sowie der diffizilen und komplexen Vorauswahl der Vorbiegungen der Röhren.



Unter dem Begriff Roboter stellen sich die Meisten entweder einen Humanoiden vor, also einen dem Menschen in seiner Gestalt ähnlichen Zeitgenossen, oder einen großen Knickarmroboter, welcher zur Handhabung eingesetzt wird, zum Beispiel in der Automobilindustrie automatisiert große Lasten hebt oder Schweißaufgaben durchführt. Traditionell sind solche Roboter aus Gelenken und starren mechanischen Verbindungen aufgebaut. Dies ist vergleichbar mit dem Aufbau menschlicher Gliedmaßen.

Eine Herausforderung ist dann gegeben, wenn ein sol-

cher Roboter in stark beengten Räumen manövrieren, dabei kurvenreiche Pfade nehmen und womöglich auch Hinterschneidungen beziehungsweise Hindernisse überwinden muss. Dies kann zum Beispiel bei der Inspektion des Innenraums von Tragflächen und von Turbinen eines Flugzeugs erforderlich sein, oder in der Chirurgie, wenn minimal invasiv durch kleine Schnitte oder natürliche Körperöffnungen operiert werden soll. Um solche Anforderungen zu erfüllen, muss ein Roboterarm besonders viele Freiheitsgrade und eine hohe Dexterität, also Gewandtheit, und gegebenenfalls eine geringe Größe aufweisen.

Inspiration aus der Natur

Seit jeher faszinieren Beobachtungen in der Natur den Menschen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler übertragen häufig Phänomene aus

der Natur auf die Technik. Auch in der Robotik ist dies vielfach zu beobachten. Es liegt also nahe, auch im Hinblick auf die oben genannten Herausforderungen in der Natur nach Lösungsmöglichkeiten zu suchen und hierbei insbesondere im Tierreich. In diesem Artikel werden dazu drei Gattungen näher betrachtet: Die Schlange, der Elefant und der Ameisenbär.

So genannte Schlangenroboter, welche seit Anfang der 1970er Jahre bereits Gegenstand von Forschungsarbeiten sind, nehmen sich Schlangen zum Vorbild. Die Körperform einer Schlange ist gliedmaßenlos, im Querschnitt rund bis oval und erscheint äußerlich gelenklos. Doch sind Schlangen skelettal aus über 200 Wirbeln aufgebaut. Während sich die charakteristischen Bewegungen dieser Tiere auch mit Robotern nachbilden lassen, zum Beispiel, indem mehrere Gelenke vergleichbar mit dem Skelett einer Schlange hintereinander angeordnet und individuell angesteuert werden, so sind die vielfachen Verschlingungen (*Abbildung 1*) und ein vergleichbarer Grad an Gewandtheit einer Schlange in der Robotik bis heute nicht abbildbar. Dabei spielt mitunter eine Rolle, dass sich Gelenke nicht beliebig miniaturisieren lassen und die Verbindungen nicht beliebig kurz realisierbar sind. Der Anzahl der Frei-

heitsgrade beziehungsweise Bewegungsmöglichkeiten sind also mechanische Grenzen gesetzt.

Der Rüssel eines Elefanten als verlängerte Nase und Oberlippe ist nicht nur ein besonders langes Organ (Abbildung 2), sondern zudem auch noch äußerst feinfühlig. Im Gegensatz zur Schlange besteht ein Rüssel aus keinerlei Knochen oder Wirbeln, sondern ist aus

durch verlängern und biegen können. Doch auch hier sind der Miniaturisierung Grenzen gesetzt.

Als weitere Inspiration aus dem Tierreich fällt der Ameisenbär mit seiner ausgeprägten, bis zu vierzig Zentimeter langen und schmalen Schnauze bei einem verhältnismäßig kleinen Kopf auf. Wie der Name bereits vermuten lässt, ernähren sich Ameisenbären

primär von Ameisen und Termiten. Diese können mit der geruchsempfindlichen Schnauze aufgespürt und dann mit der langen Zunge selbst in den kleinsten Löchern erreicht werden (Abbildungen 3 und 4). Der Ameisenbär gehört zu den Säugetieren mit der längsten Zunge. Sie kann über 60 Zentimeter lang werden und ist mit 10–15 Millimetern im Durchmesser sehr schmal. Wie bei den meisten Wirbeltieren ist die Zunge ein Muskelkörper.

Es ist also festzuhalten, dass im Tierreich Mechanismen zu beobachten sind, welche eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden und eine hohe Gewandtheit aufweisen und gleichzeitig gelenklos sind.

Kontinuumsroboter

Die Kontinuumsrobotik bedient sich eben diesem Prinzip der Gelenklosigkeit. Das heißt, im Vergleich zu klassischen Roboterarmen besitzen Kontinuumsroboter keine Gelenke und starren Verbindungen, sondern sind zumeist durch flexible Rückgratstrukturen charakterisiert. Dieser grundlegend andersartige Ansatz



Abbildung 1 Schlange.

Abbildung 2 Elefantenrüssel.

über 40.000 Muskeln aufgebaut. Er dient nicht nur dem Riechen, sondern auch als »Hand« zum Fühlen, Tasten, Transport von Wasser und Futter ins Maul und auch zum Kampf. Die Geschicklichkeit eines Rüssels mit seiner langen und sich windenden Form ist für die Robotik eine große Motivation. So hat beispielsweise die Firma Festo im Jahr 2010 einen bionischen Handling-Assistenten entwickelt – inspiriert vom Rüssel eines Elefanten. Dieser Roboterrüssel hat keine Gelenke, sondern ist aus flexiblen Faltenbalgen aufgebaut, deren Luftkammern pneumatisch betrieben werden und den Rüssel da-

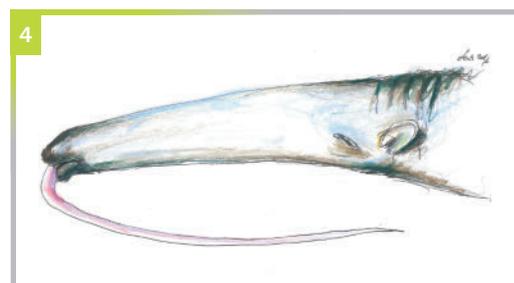


Abbildung 3 Mit der Zunge erreicht ein Ameisenbär selbst durch kleinste Öffnungen seine Nahrung.

Abbildung 4 Ameisenbär.

find bereits in den 1960er Jahren Erwähnung, jedoch sind signifikante Forschungsarbeiten erst seit den späten 90er Jahren zu verzeichnen.

Wie oben erwähnt, gibt es Kontinuumsroboter, deren Bewegungen pneumatisch oder auch hydraulisch erzeugt werden. Diese Art der Aktuierung (Bewegungserzeugung) wird als intrinsisch bezeichnet. Um kleinere Kontinuums-

roboter zu realisieren und damit den eingangs genannten Herausforderungen zu begegnen, werden zumeist extrinsische Aktuierungsmechanismen eingesetzt.

Eine der am häufigsten verwendeten Prinzipien extrinsischer Aktuierung ist die durch Seilzüge. Dabei sind entlang des flexiblen Rückgrats

(zum Beispiel in Form eines flexiblen Drahtes) Führungsscheiben in gleichen Abständen zueinander verteilt und fest mit dem Rückgrat verbunden. Durch mechanische Stellmittel, wie Seilzüge, Stäbe oder Ähnliches, kann dann durch Verkürzung beziehungsweise Verlängerung eine konstante Krümmung hergestellt werden (Abbildung 5). Um das Rückgrat in verschiedenen Bereichen unterschiedlich zu krümmen, wird es in Segmente unterteilt. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass die Stellmittel am Ende eines Segmentes terminieren. Die Biegung pro Segment ist in Abhängigkeit der Verkürzung oder Ver-

längerung des Stellmittels variabel, wobei die Bogenlänge in jedem Segment unveränderlich bleibt. Gleichzeitig ist durch die feste Länge der Segmente auch deren Krümmungscharakteristik gleichbleibend, sodass die einzelnen Segmente eines solchen Kontinuumsroboters je nach Arbeitsumfeld und Aufgabe vorher festgelegt und entsprechend konstruiert werden müssen. Mit einem solchen

konstruiert werden, dessen Segmente individuell in ihrer Länge und Biegung gesteuert werden können. Dazu ist das Rückgrat aus teleskopartig ausfahrbaren, elastischen Rohren aufgebaut. Entlang des Rückgrats sind Seilführungsscheiben nicht wie bisher fixiert, sondern frei verschiebbar angeordnet. Durch Magnete in den Seilführungsscheiben, welche mit ihren Polen abwechselnd zueinan-

Abbildung 5 Prinzip der extrinsischen Aktuierung eines Kontinuumsroboters mittels Seilzügen

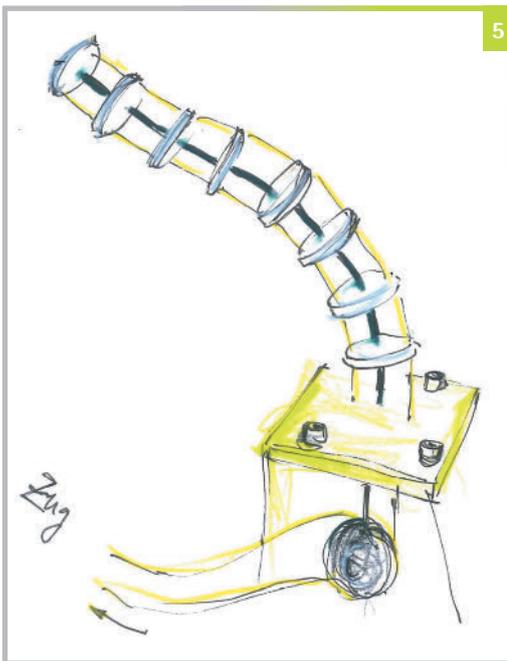


Abbildung 6 Seilzugaktuierter Kontinuumsroboter mit ein- und ausfahrbaren Segmenten mit integrierten Magnetscheiben.



Kontinuumsroboter lassen sich die genannten Herausforderungen bereits zum Teil lösen, jedoch sind Einschränkungen durch die limitierten Verbiegungen des Roboters gegeben, insbesondere wenn ein Vorschub in einen beengten, kurvenreichen Bereich erfolgen soll und dabei Hindernisse umgangen werden müssen.

Am Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik (LKR), dem ersten dedizierten Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik in Deutschland, werden in laufenden Forschungsarbeiten neue Mechanismen untersucht, welche die bisherigen Limitierungen nicht aufweisen. Mit einem patentierten Mechanismus konnte zum Beispiel der erste seilzugaktuierte Kontinuumsroboter

der angeordnet sind, stoßen sich diese ab und bewirken eine gleichmäßige Verteilung der Scheiben entlang des Rückgrats. Auf diese Weise kann mit jedem einzelnen Segment ein breites Spektrum von Biegungen erzielt werden und folglich ist die Dexterität (Beweglichkeit) des Kontinuumsroboters höher! Mit nur 7 Millimetern Durchmesser ist dieser Kontinuumsroboter der Kleinste unter den seilzugaktuierten Kontinuumsrobotern mit variabler Segmentlänge (Abbildung 6). Während die minimale Segmentlänge durch die Seilführungsscheiben beschränkt ist, beschäftigen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am LKR derzeit mit seilzugaktuierten Mechanismen, welche ohne Seilführungsscheiben auskommen und Segmente

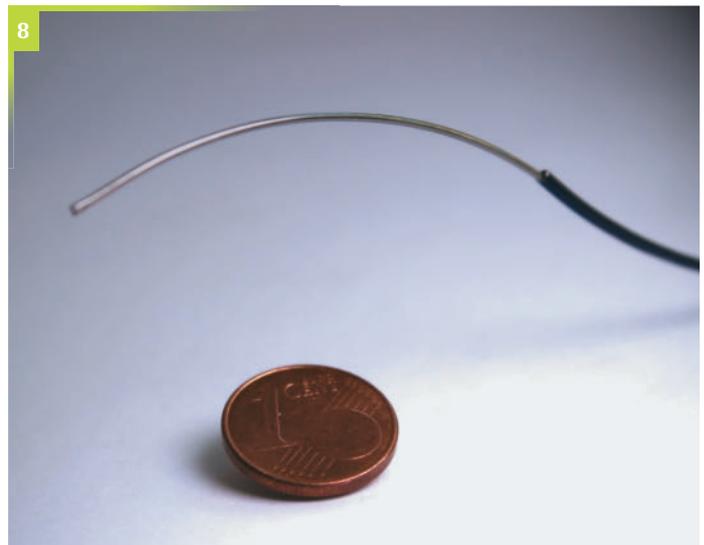
mit der Länge Null zulassen (Abbildung 7).

Tubuläre Struktur

Der derzeit kleinste Kontinuumsroboter der Welt wurde vor 10 Jahren von zwei US-amerikanischen Forschern erfunden. Er weist eine tubuläre (röhrenförmige) Struktur auf und erinnert hinsichtlich seiner Aktuierung an eine

Heute werden tubuläre Kontinuumsroboter maßgeblich am LKR weiterentwickelt. Während der grundsätzliche mechanische Aufbau hinreichend erforscht ist, besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der mathematischen Modellierung der Form des Roboters und seiner Bewegungen. Weiterhin ist die geschickte Vorauswahl der Vorbiegungen der Röhren ein diffiziles und komplexes Problem. So

Einsatz in der Medizin. Mit wenigen Millimetern im Durchmesser erscheinen sie wie bewegliche medizinische Nadeln. Auf kurvenreichen Wegen kann ein solcher Kontinuumsroboter tief in den menschlichen Körper vordringen, ohne dabei gesundes Gewebe in Mitleidenschaft zu ziehen. Zudem können durch das innere Röhrrchen kleine Zängelchen und Greifer angetrieben, Medikamente zu-



Teleskopantenne. Kleinste elastische Röhrrchen aus einer Nickel-Titan Legierung werden thermisch vorbehandelt und in definierte Formen gebogen. Danach werden die Röhrrchen konzentrisch angeordnet und zur Aktuierung gegeneinander verschoben und ineinander verdreht. Auf diese Weise überlagern sich die Biegungen der einzelnen Röhrrchen und ergeben gemeinsam eine kontinuierliche, tentakelartige Form. Mit Durchmessern der Röhrrchen zwischen 0,2 und 2,5 Millimetern lassen sich die so genannten tubulären Kontinuumsroboter realisieren, welche bezüglich ihres Durchmessers die kleinsten Kontinuumsroboter der Welt sind (Abbildung 8).

werden beispielsweise am LKR sogenannte Mehrziel-optimierungsalgorithmen erforscht, um die unendlichen Kombinationsmöglichkeiten von Längen, Durchmessern, Wandstärken, Vorbiegungen usw. zu simulieren und hinsichtlich ihrer Eignung in Bezug auf bestimmte Aufgaben zu bewerten. Des Weiteren werden in Forschungsarbeiten Methoden für die Steuerung und Regelung von tubulären Kontinuumsrobotern erforscht. Dabei stellt die geringe Größe insbesondere für die Integration von Sensoren zum Messen von Position, Orientierung, Form und einwirkenden Kräften eine besondere Herausforderung dar, die nur interdisziplinär lösbar ist.

Tubuläre Kontinuumsroboter sind prädestiniert für den

geführt und Flüssigkeiten abgesaugt werden. In enger Zusammenarbeit mit den verschiedenen Fachdisziplinen an der Medizinischen Hochschule Hannover und dem International Neuroscience Institute werden die tubulären Kontinuumsroboter am LKR für die verschiedensten minimal-invasiven Operationen entwickelt.

So ließen sich beispielsweise Tumore an der Hirnanhangsdrüse im Zentrum des menschlichen Schädels, der so genannten Schädelbasis, durch die Nase entfernen. Dieser natürliche Zugangsweg ist mithilfe tubulärer Kontinuumsroboter passierbar und bedarf nur zwei kleiner Bohrungen zur Durchquerung einer knöchernen Höhle vor der Hirnanhangsdrüse, die

Abbildung 7 Ein- und ausfahrbarer seilzug-aktuierter Kontinuumsroboter mit Verzicht auf Seilführungs-scheiben.

Abbildung 8 Tubulärer Kontinuumsroboter.



**Prof. Dr.-Ing.
Jessica Burgner-Kahrs**

Jahrgang 1981, ist seit November 2015 Professorin an der Fakultät für Maschinenbau und leitet den ersten Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik. Für ihre Forschung auf dem Gebiet der Kontinuumsrobotik wurde Burgner-Kahrs unter anderem mit dem Heinz Maier-Leibnitz-Preis und dem Wissenschaftspreis Niedersachsen in der Kategorie Nachwuchs ausgezeichnet. Kontakt: burgner-kahrs@lkr.uni-hannover.de

verhindern zum Beispiel, dass versehentlich Nerven oder Blutgefäße verletzt werden.

Ein weiteres vielversprechendes Einsatzgebiet tubulärer Kontinuumsroboter ist die minimal-traumatische Insertion von Cochlea-Implantaten. Diese Neuroprothesen dienen der Behandlung von Taubheit oder schwergradiger Schwerhörigkeit. Die Cochlea (Hörschnecke) befindet sich im Innenohr und ist ein wenige Millimeter kleines Organ. Bei der Versorgung mit einem Cochlea-Implantat muss eine Elektrode meist händisch durch die Chirurgin oder den Chirurgen durch

eine winzige Öffnung in die Cochlea eingeführt werden, wobei Lage und Position der Elektrode aufgrund der geringen Größe der Cochlea kaum beeinflussbar sind und zudem Kontaktkräfte an der Innenwand der Cochlea entstehen. Für ein bestmögliches späteres Hörverhalten sind eine schonende Insertion und eine genaue Positionierung der Elektrode jedoch ausschlaggebend, denn diese überträgt die vom Mikrofon am Schädel des Patienten aufgenommenen und von einem digitalen Sprachprozessor verarbeiteten Signale direkt auf den Hörnerv. Die besondere Herausforderung

liegt in der Kombination aus geringer Größe und mehrfachen Windungen innerhalb der Hörschnecke. Im Rahmen einer ersten Machbarkeitsstudie konnte am LKR nachgewiesen werden, dass sich mit Hilfe eines tubulären Mechanismus, wie er in vergleichbarer Form bei tubulären Kontinuumsrobotern zum Einsatz kommt, eine Elektrode ohne Berührung der Innenwand in die Hörschnecke einführen ließe. Dieses neue Verfahren zur Positionierung einer Prothese innerhalb der Hörschnecke wurde zum Patent angemeldet (Abbildung 10).

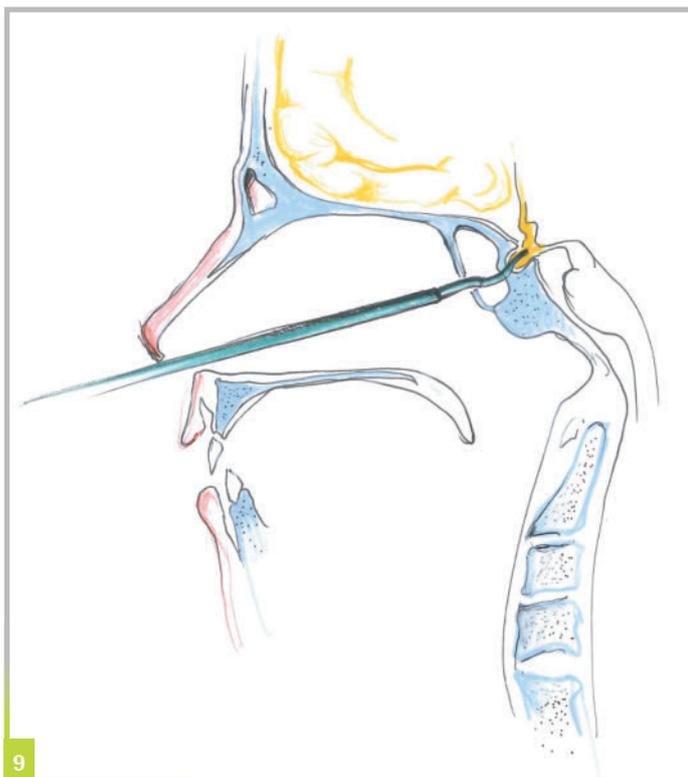


Abbildung 9
Zugang über die Nase und durch die Keilbeinhöhle zur Schädelbasis um Tumore minimal invasiv zu entfernen.

Abbildung 10
Elektrode eines Cochlea-Implantats mit integriertem tubulären Manipulator (links) und innerhalb der Gehörschnecke (rechts)

nach der Tumorentfernung wieder verschlossen werden (Abbildung 9). Die Chirurgin oder der Chirurg, als erfahrene Experten, steuern die Kontinuumsroboter über ein Eingabegerät und haben dabei das Videobild einer Kamera, welche an der Roboterspitze platziert ist, vor Augen. Am LKR werden Algorithmen für diese Fernsteuerung entwickelt, die als Teleoperation bezeichnet wird. Nicht nur die submillimetergenauen Bewegungen werden vom Bedienden über das Eingabegerät auf den Roboter übertragen, so genannte Assistenzfunktionen unterstützen dabei und





Dipl.-Ing. Josephine Granna

Jahrgang 1989, hat an der Leibniz Universität Hannover Maschinenbau studiert. Seit Februar 2015 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik. Ihr Forschungsschwerpunkt sind Algorithmen für die Optimierung und Abdeckungsplanung tubulärer Kontinuumsroboter für medizinische Applikationen. Kontakt: granna@lkr.uni-hannover.de



Dipl.-Ing. Vincent Modes

Jahrgang 1987, studierte an der TU Dresden Mechatronik. Von 2012 bis 2016 war er als Entwickler bei der KUKA Roboter AG tätig. Seit März 2016 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik und forscht im Bereich Sensorik für Kontinuumsroboter, um deren Form und die einwirkenden Kräfte zu messen. Kontakt: modes@lkr.uni-hannover.de



M.Sc. Ernar Amanov

Jahrgang 1986, studierte an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg und der Leibniz Universität Hannover Mechatronik. Seit Oktober 2014 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik. Seine Forschungsschwerpunkte sind das Design und die Konstruktion neuartiger Kontinuumsroboter. Kontakt: amanov@lkr.uni-hannover.de



M.Sc. Carolin Fellmann

Jahrgang 1987, studierte System Engineering an der Universität Bremen und ist seit November 2013 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik tätig. Fokus ihrer Forschungsarbeiten sind die Bewegungsplanung und Mensch-Maschine Interaktion für Kontinuumsroboter in medizinischen Applikationen. Kontakt: fellmann@lkr.uni-hannover.de

In der Neurochirurgie wird am LKR derzeit in Zusammenarbeit mit dem International Neuroscience Institute in Hannover ein neues Verfahren zur thermischen Laserablation (Behandlung per Laser) von Tumoren im Gehirn erforscht. Insbesondere bei großen und irregulär geformten Tumoren sind heutige Verfahren für die thermische Laserablation nicht einsetzbar. Von der Neurobionik-Stiftung gefördert, untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, ob sich mithilfe von tubulären Kontinuumsrobotern die Lasersonde gezielt über ein kleines Bohrloch im Schädel bis zum Tumor vorbringen lässt, ohne dabei das gesunde Gehirn in Mitleidenschaft zu ziehen. Im Tumor angelangt muss die Lasersonde an verschiedene Stellen gesteuert werden, um dann mithilfe des Lasers das Tumorgewebe kontrolliert zu erhitzen und damit die Krebszellen unschädlich zu machen. Um den gesamten

Tumor zu ablatieren, müssen die Bewegungen und die Ablation vorab am Computer genau geplant werden. Überwacht wird die thermische Ablation dann im Magnetresonanztomographen. Das Magnetfeld des Tomographen erfordert eine Konstruktion des Roboters und all seiner Komponenten aus kompatiblen Materialien. Derzeit steht das Forschungsprojekt noch am Anfang, doch ist bereits absehbar, dass sich die thermische Tumorablation von Gehirntumoren wesentlich verbessern lässt.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Kontinuumsroboter mit ihrer gelenklosen Struktur eine hohe Gewandtheit aufweisen und dabei in Bezug auf ihre Größe deutlich kleiner sind als klassische Roboterarme. Dadurch können kurvenreiche Wege

über kleinste Zugänge überwunden, in beengten Arbeitsräumen manövriert und komplexe Aufgaben gelöst werden. Diese Eigenschaften sind insbesondere in der Medizin von großer Bedeutung.

Interessierten Leserinnen und Lesern sei der 2015 erschienene Überblicksartikel empfohlen: **Continuum Robots in Medical Applications – A Survey** von Burgner-Kahrs/Rucker/Choset in der Fachzeitschrift *IEEE Transactions on Robotics* (DOI 10.1109/TRO.2015.2489500).

Roboter im Einsatz

WENN ES FÜR DEN MENSCHEN ZU GEFÄHRLICH WIRD

Rettungskräfte riskieren oft ihr Leben. So starben zwischen 2010 und 2014 weltweit durchschnittlich 159 Feuerwehrleute pro Jahr, während sich 75.895 im Einsatz verletzten. Roboter können hier wertvolle Dienste leisten. Wissenschaftler vom Institut für Systems Engineering, Fachgebiet Echtzeitsysteme berichten, wie die Umgebungswahrnehmung mobiler Einsatzroboter verbessert werden soll.

Roboter haben den unbestreitbaren Vorteil, dass sie in menschenfeindlichen Umgebungen arbeiten können und austauschbar sind. Das wohl bekannteste Beispiel für einen Robotereinsatz ist die Erkundung des Atomkraftwerks in Fukushima, in dem es im März 2011 infolge eines Erdbebens zu Kernschmelzen gekommen ist. Menschen könnten aufgrund der hohen Radioaktivität in dieser Umgebung keine Stunde überleben, sodass nur Roboter das Kraftwerk erkunden dürfen. Mit der Entwicklung neuer Sensoren und Datenverarbeitungsmethoden werden immer weitere Einsatzszenarien erschlossen. So ermöglicht es die neueste Radartechnologie, hochauflösende Bilder sogar bei starkem Rauch zu erzeugen und auch in geschlossene Objekte (zum Beispiel Koffer) zu schauen. Bei Tunnelunglücken, Großbränden oder Bombenentschärfungen kann diese Fähigkeit im Zusammenspiel mit weiteren Sensoren zur Unterstützung der Einsatzkräfte vor Ort durch Roboter genutzt werden. Das Fachgebiet Echtzeitsysteme (RTS) der Leibniz Universität Hannover forscht in den Projekten SmokeBot und USBV-Inspektor an der Verbesserung von Robotern, die dann eingesetzt werden, wenn es für den Menschen zu gefährlich wird.

Beim Einsatz unter rauen Umgebungsbedingungen (bei-



spielsweise Regen, Schnee, Nebel, Rauch oder Staub) kommen mobile Roboter mit traditionellen Sensoren (Kameras, Laserscanner, Tiefenkameras, etc.) hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit an ihre Grenzen. Aus diesem Grund werden im Projekt SmokeBot hard- und softwarebasierte Ansätze entwickelt, um die Umgebungswahrnehmung in Szenarien mit begrenzter Sichtbarkeit zu verbessern

(Abbildung 1). Das im Rahmen des Programms Horizon 2020 geförderte EU-Projekt wird seit Januar 2015 mit Partnern aus Schweden, Österreich, dem Vereinigten Königreich, dem Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik (FHR) sowie der Feuerwehr Dortmund durchgeführt. SmokeBot zielt darauf ab, die Einsatzkräfte vor Ort mit einem mobilen Roboter zu unterstützen. Dieser ist mit

neuester Sensortechnik ausgestattet und in der Lage, unter sehr schlechten Sichtbedingungen, extremer Hitze und der Präsenz von gefährlichen Gasen autonom zu navigieren. Gleichzeitig kann der Roboter zweidimensionale und dreidimensionale Karten der Umgebung erstellen, welche mit zusätzlichen Informationen, wie Temperaturdaten und Gaskonzentrationen, versehen

daten fusioniert, sodass ein Roboter trotz schlechter Sicht fahren und eine Karte erstellen kann. Diese Karten sind einerseits ein wichtiges Hilfsmittel für die Einsatzplanung des Rettungspersonals, andererseits dienen sie aber auch dem Schutz des Roboters, damit er sich zur Not selbstständig aus einer Gefahrenzone bewegen kann. Da Radarsensoren vergleichswei-

liefern. Diese Erfahrung zu automatisieren, gehört zu den Herausforderungen, die das RTS bewältigen möchte. Um die genannten Probleme zu lösen, werden Wärmebilddaten mit 3D-Entfernungsdaten fusioniert und mit physikalischen Modellen abgeglichen, sodass ein korrektes Modell der Umgebung entsteht.

Das Herzstück im Projekt SmokeBot ist das so genannte General Disaster Information Model (GDIM), ein Informationsmodell, in dem sämtliche relevanten Daten des Systems zusammenkommen. Aufgrund der großen Informationsmenge in einem Robotersystem ist es nicht möglich, alle Daten in GDIM zu speichern. Deshalb werden am RTS neue Ansätze der Datenspeicherung verfolgt, in denen veraltete und redundante Informationen gelöscht werden können. GDIM bildet auch die Informationsbasis für die Gefahrenerkennung und -vorhersage. Auf Grundlage der Messungen von Wärmebildkamera, Radar, Laserscanner und Gasetektor soll der Roboter befähigt werden, sich selbst bei auftretenden Gefahren rechtzeitig in Sicherheit zu bringen sowie menschliche Einsatzkräfte im Umkreis vor potenziellen Bedrohungen zu warnen (Abbildung 2).

Roboter helfen den Einsatzkräften, die Situation bereits richtig einzuschätzen, wenn die Gefahr noch nicht offensichtlich ist. Unbeaufsichtigte Koffer, Taschen oder Rucksäcke sind an öffentlichen Plätzen Teil des täglichen Lebens. Auch wenn sich die meisten dieser verlassenen Gepäckstücke als ungefährlich herausstellen, können sie einen groß angelegten Polizeieinsatz verursachen. Stellt sich das Gepäckstück als Bedrohung heraus, wird dieses als unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung bezeichnet

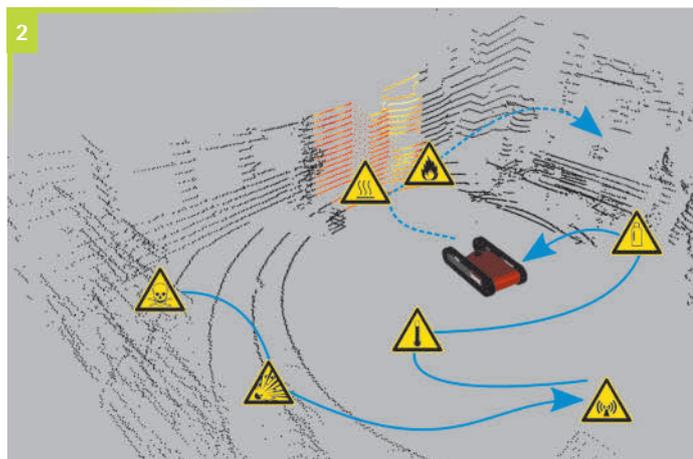


Abbildung 1
Die Fusion von Wärmebildern, Laser- und Radarmessungen ermöglicht die Navigation von Robotern in extremen Umgebungen.
Quelle: RTS Hannover

Abbildung 2
In kritischen Situationen kann die Einsatzkraft schnell auf die wichtigsten Informationen zugreifen.
Quelle: RTS Hannover

werden können. Dafür werden im Projekt spezielle Radarsensoren entwickelt und deren Signale mit denen aus Laserscannern und Wärmebildkameras kombiniert. Radarsensoren werden nicht nur zur Flugüberwachung und Geschwindigkeitskontrolle eingesetzt, sie sind bereits in vielen Automobilen für Sicherheitsfunktionen eingebaut. In der mobilen Robotik hingegen finden sie selten Anwendung, da sie relativ ungenau sind. Die im Projekt SmokeBot speziell entwickelten Radarsensoren werden neue Einsatzgebiete bei Aufgaben der Erkundung erschließen.

Radarsensoren sind robust bezüglich schlechter Sichtbedingungen und können zum Einsatz kommen, wenn herkömmliche Kameras und Laserscanner nicht mehr weiterhelfen. Deswegen werden am RTS Laser- und Radar-

se ungenaue Messwerte liefern, besteht die Herausforderung in der Kombination mit noch brauchbaren Laserdaten oder anderen Karten, um ein möglichst genaues Gesamtmodell für den Anwender zu erstellen.

Nicht nur der Laserscanner, sondern auch gewöhnliche Kameras kommen in dichtem Rauch an ihre Grenzen. Deshalb werden bei Brandeinsätzen häufig Wärmebildkameras verwendet, welche dem Feuerwehrmann zeigen, wo sich besonders heiße beziehungsweise gefährliche Orte oder eingeschlossene Menschen befinden können. Die Einsatzkraft kann aufgrund ihrer Erfahrung ein Wärmebild schnell und richtig interpretieren. Sie weiß zum Beispiel, was ein wahres Objekt oder eine thermische Reflexion ist und wann Wärmebildkameras falsche Werte

Abbildung 3
 Durch das am ferngesteuerten Roboter befestigte Sensorsystem wird in das Innere einer USBV geschaut, wodurch beispielsweise Energieversorgungen, Zünder oder Kabelleitungen identifiziert werden können.

Quelle: Landeskriminalamt Nordrhein-Westfalen



(kurz USBV). Ziel des Projekts USBV-Inspektor, das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms »Forschung für zivile Sicherheit« gefördert wird, ist die Entwicklung einer Sensor-Suite, welche am Greifer eines ferngesteuerten Roboters montiert werden kann und die Einsatzkräfte in die Lage versetzt, verdächtige Gegenstände zu untersuchen, ohne sich selbst in Gefahr begeben zu müssen. Der Bediener steuert den Roboter aus einer sicheren Distanz und sieht auf einem Monitor ein dreidimensionales Modell der Umgebung. Neben der Verwendung des Modells zur Steuerung des Roboters kann es auch zur Einstufung der Gefahrenlage, Beweissicherung und in der anschließenden juristischen Strafverfolgung verwendet werden. Das System erfasst die interne und externe Geometrie einer potenziellen USBV und generiert hochauflösende Bilder von verdächtigen Objekten, um die Einsatzkräfte vor Ort zu unterstützen.

Die genannten Sensoren werden gemeinsam in einem kompakten Gehäuse untergebracht (Abbildung 3), das durch die Einsatzkräfte an einer Roboterplattform befestigt werden kann. Im Gegensatz zu aktuell verfügbaren Technologien wie zum Beispiel RGB-Kameras oder Röntengeräte, welche zweidimensionale Bilder des Tatorts sowie des Kofferinhalts liefern, versetzen die im Projekt verwendeten Sensoren die Einsatzkräfte in die Lage, sowohl das Innere des verdächtigen Objekts als auch die Umgebung dreidimensional zu betrachten. Dies hilft dabei, Gegenstände im Koffer in eine räumliche Beziehung zueinander zu setzen und so die potenzielle Gefährdung besser einschätzen zu können. Darüber hinaus wird es dadurch möglich, auch in einer unbekanntem Umgebung sicherer zu navigieren. Die gesammelten Daten werden an eine Kontrollstation übertragen, von welcher gegebenenfalls Schritte zur Gefahrenabwehr eingeleitet werden können. Gleichzeitig findet eine Datensicherung

statt, um einen Datenverlust bei einer Umsetzung von Sprengstoff zu verhindern.

Durch den Einsatz der Sensor-Suite werden die Einsatzkräfte sowohl bei der Gefahreneinstufung als auch bei der Strafverfolgung unterstützt. Im Vergleich zu konventionellen Sensoren wird durch das neuartige Sensorkonzept der Zeitraum zwischen der Entdeckung der potentiellen USBV bis zur Bereitstellung von Daten aus dem Kofferinneren deutlich verkürzt. Dadurch kann die Gefahreneinstufung schneller erfolgen und die Dauer einer notwendigen Platzsperrung verringert werden. Darüber hinaus können auch bisher schwer zugängliche Objekte untersucht werden. Durch den Einsatz von Robotik ist dies ohne die Gefährdung von Einsatzkräften möglich.

Auch wenn die in den Projekten behandelten Szenarien nur einen kleinen Teil des gesamten Spektrums an Einsatzmöglichkeiten abbilden, stellt die Arbeit des RTS einen wichtigen Schritt im Bereich der Umgebungswahrnehmung mobiler Einsatzroboter dar. Die Forschungsergebnisse aus den Projekten SmokeBot und USBV-Inspektor tragen dazu bei, das Risiko, im Rettungseinsatz verletzt zu werden, zu reduzieren.



Abbildung 4
Die wissenschaftlichen Mitarbeiter am Institut für Systems Engineering mit dem Leiter des Fachgebietes Echtzeitsysteme in der Mitte. Im Bild von links nach rechts: Paul Fritsche, Björn Zeise, Bernardo Wagner, Sebastian Kleinschmidt, Christian Wieghardt

M.Sc. Paul Fritsche

Jahrgang 1987, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systems Engineering. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Radarnetzwerke, Sensorfusion und Kartierungsverfahren. Kontakt: fritsche@rts.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Bernardo Wagner

Jahrgang 1957, ist Leiter des Fachgebietes für Echtzeitsysteme in der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsinteressen umfassen die mobile Service-robotik, die maschinelle Umgebungswahrnehmung und die softwarebasierte Automatisierung technischer Systeme. Kontakt: wagner@rts.uni-hannover.de

M.Sc. Sebastian Kleinschmidt

Jahrgang 1986, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systems Engineering. Seine Arbeitsschwerpunkte sind intermodale Sensorfusion, Struktur durch Bewegung. Kontakt: kleinschmidt@rts.uni-hannover.de

M.Sc. Björn Zeise

Jahrgang 1988, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systems Engineering. Seine Forschungsschwerpunkte sind Sensorfusion im Zusammenhang mit Thermografie und 3D-Entfernungssensoren, autonome Detektion möglicher Gefahrenquellen in Search-and-Rescue-Szenarien. Kontakt: zeise@rts.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Christian Wieghardt

Jahrgang 1985, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systems Engineering. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Selbstkalibrierung von mobilen Robotern, Strukturierendes Licht. Kontakt: wieghardt@rts.uni-hannover.de



**Deutsch für die Uni
Abendkurse Deutsch
Deutsch für Mediziner**

ISK | Lützwowstraße 7 | 30159 Hannover
05 11 . 12 35 63 60 | www.isk-hannover.de



**Institut für Sprachen
und Kommunikation**

Systematische Unterstützung für junge Gründungswillige

NEUES TUTORIUM AM MECHATRONIK-ZENTRUM



Ablauf im Tutorium Student Accelerator

Junge Studierende, die Interesse an einer Unternehmensgründung zeigen, bekommen ab dem Wintersemester 2016/2017 neue Unterstützung: Innerhalb der Vertiefungsrichtung »Entwicklung und Konstruktion« des Maschinenbaus wird das Modul »Technologieorientiertes Unternehmertum« angeboten. Hier haben gründungsorientierte Studierende die Möglichkeit, sich mit dem Themenfeld Entrepreneurship auseinanderzusetzen, die Gründung als Karrierepfad kennenzulernen und sich als Innovationstreiber in der Region Hannover zu etablieren.

Als Grundbaustein wurde die Vorlesung »Gründungspraxis für Technologie Start-ups« durch den Gründungsservice starting business konzipiert und im Sommersemester 2016 erstmalig angeboten. Die Themen decken Start-up-Methode, Markt & Wettbewerb, Finanzierung & Förderung sowie die Erstellung von Businessplänen für virtuelle Unternehmensgründungen ab. Gastvorträge über »Erfolgsgeschichten« von erfahrenen Unternehmerinnen und Unternehmern aus der Leibniz Universität runden die Vorlesungsinhalte ab. In begleitenden praxisorientierten Übungen erlernen die Studierenden unternehmerische Chancen zu erkennen, Lösungen zu entwickeln und umzusetzen. Die Veranstaltung findet in Zusammenarbeit mit dem Institut für Unternehmensführung und Organisation der Leibniz Universität statt.

Parallel dazu bietet das Mechatronik-Zentrum Hannover als weitere zentrale Komponente der Entrepreneurship-Ausbildung das Tutorium »Student Accelerator – Robotic and Automation« an. Ziel der Veranstaltung ist es, die Studierenden zu befähigen, eigene innovative Ideen umzusetzen und einen ersten Test auf Praxistauglichkeit durchzuführen. Es erhält finanzielle Unterstützung der Fakultät für

Maschinenbau sowie der Wirtschaftsförderung hannoverimpuls, denen an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

Nach Vorstellung einer Projektidee der Studierenden und einer Einarbeitungsphase wird ein Mentoren-Tandem (technologisch und unternehmerisch) gebildet. Hierbei werden die Tutoriumsteilnehmerinnen und -teilnehmer zielgerecht durch Experten der Leibniz Universität beraten und können ihre Vision weiterentwickeln. Parallel zu den praktischen Erfahrungen werden wirtschaftswissenschaftliche Kenntnisse zu Marktrecherche, Public Relations sowie Recht und Finanzen vermittelt. Die Möglichkeit zum Aufbau von prototypischen Funktionsmustern in einer Pilotanwendung und eine Abschlusspräsentation runden die Veranstaltung ab. Voraussetzung für das Tutorium ist eine eigene Idee aus dem Themengebiet Robotik und Automation, die Motivation die Idee umzusetzen und Interesse an Gründung und Selbstständigkeit.

In der nächsten Ausbaustufe wird ein Incubator für wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und Studierende geplant, so dass Start-up-Ideen vom Studium bis nach der Promotion gefördert werden können. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sollen so ihr Gründungsvorhaben voranbringen und beispielsweise in eine BMWi Exist-Förderung überführen.

Kontakt

MZH-Entrepreneurship, www.mzh.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. T. Ortmaier, imes, Institut für Mechatronische Systeme, www.imes.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. J. Friederichs, Mechatronik-Zentrum Hannover

Gute Chancen entschlossen ergreifen.

Klasmann-Deilmann: Das ist unsere Natur



2015 – 2018



Familienfreundlich



Erfolgreich



Naturnah



International



Partnerschaftlich



Vielseitig

Wir sind bereit, Verantwortung für die Zukunft zu tragen. Dafür brauchen wir Ihre kraftvolle Unterstützung.

Nutzen Sie Ihre Chance zum Einstieg für Ihren Aufstieg

Klasmann-Deilmann ist der führende Hersteller von Substraten für den Produktionsgartenbau. Dabei fühlen wir uns sowohl der nachhaltigen Nutzung der Ressourcen als auch dem Natur- und Umweltschutz verpflichtet. Um unsere Aktivitäten weiter auszubauen, suchen wir GartenbauingenieurInnen mit einem Bachelor- oder Masterabschluss, die ihr Wissen bei uns einbringen, praktische Erfahrungen sammeln oder weiter ausbauen wollen. Es erwarten Sie ein moderner Arbeitsplatz und eine ebenso anspruchsvolle wie abwechslungsreiche Tätigkeit mit attraktiven Aufstiegschancen. Außerdem genießen Sie alle Vorzüge eines Unternehmens, das die Work-Life-Balance seiner Mitarbeiter berücksichtigt.

Nicht zuletzt bieten Ihnen unsere Standorte im Emsland ein vielseitiges Freizeitangebot mit hohem Erholungswert.

Ganz gleich, ob Sie Berufseinsteiger sind oder bereits erste Berufserfahrung haben – bei Klasmann-Deilmann sind Sie richtig auf dem Weg zum Erfolg. Senden Sie Ihre Bewerbung mit aussagekräftigen Unterlagen unter Angabe Ihres Gehaltswunsches und des möglichen Eintrittstermins an die unten stehende Adresse. Auch wenn Sie das Studium einer ähnlichen Fachrichtung erfolgreich absolviert haben, freuen wir uns über Ihre Initiativbewerbung.



we make it grow



Einfach QR-Code scannen und bewerben:

Klasmann-Deilmann GmbH | Personalabteilung | Georg-Klasmann-Straße 2-10 | 49744 Geeste
Benedikt Kossen | Telefon + 49 5937 31 290 | personal@klasmann-deilmann.com | www.klasmann-deilmann.com

Recht und Robotik

ZUR FAHRLÄSSIGKEITSHAFTUNG IM KONTEXT DER MENSCH-ROBOTER-KOLLABORATION (MRK)

Hatten Mensch und Roboter bisher getrennte Arbeitsbereiche, so entwickelt sich die Forschung immer mehr hin zu einer Zusammenarbeit von Mensch und Maschine. Diese Entwicklung birgt viele Chancen, aber auch (rechtliche) Risiken. Eine Professorin für Strafrecht, Strafprozessrecht, Strafrechtsvergleichung und Rechtsphilosophie erläutert, vor welchen Herausforderungen das Recht in Bezug auf die Entwicklung der Robotik steht.

In der Mensch-Roboter-Kollaboration sollen die Risiken so niedrig wie möglich gehalten werden und die Frage der Verantwortung weitgehend vorab geklärt sein. Schon jetzt haben die Beteiligten aus Forschung, Entwicklung und Herstellung ein berechtigtes Interesse daran, die potenziellen Haftungsrisiken ihrer Forschungstätigkeit und der späteren Produktion zu kennen, Versicherungen möchten sich auf diese neuartigen Produkte einstellen können, und auch die Gesellschaft wird dem Fortschritt der Robotik zweifellos noch offener begegnen, wenn möglichst große Einigkeit über die Verteilung der Verantwortung und der Risiken besteht.

Aus diesen Gründen ist eine frühe Kooperation zwischen Robotik und normativen Disziplinen – Ethik und Rechtswissenschaft – ratsam. Dabei geht es nicht darum, die Forschung in eine bestimmte Richtung zu dirigieren, Verbote zu erlassen oder Ängste zu schüren. Vielmehr werden Forschung und Produktion rechtlich begleitet und so weitgehende Sicherheit für die Gesellschaft hergestellt; Rechtssicherheit ist auch aus Perspektive der Robotik wichtig für den technischen Fortschritt. Im Folgenden wird die Fahrlässigkeitshaftung im Bereich der MRK als ein Sonderproblem beleuchtet – nur einer von vielen Aspekten der Robotik, die das Recht künftig wird diskutieren müssen.



Die Mensch-Roboter-Kollaboration aus rechtlicher Perspektive

Traditionell arbeiten Mensch und (Industrie-) Roboter physisch voneinander getrennt. Dadurch entsteht eine nur geringe, überschaubare Gefahr der Verletzung des menschlichen Arbeiters, die kaum höher ist als bei vielen anderen Maschinen auch. Derzeit treffen Mensch und Roboter aber immer öfter real zusammen und teilen sich konkrete Aufgaben. So bedient zum Beispiel der Mensch den Roboterarm, indem er ihn führt und ihm so eine bestimmte Bewegung beibringt. Damit steigt die Gefahr einer Schädigung – des bedienenden Menschen, aber auch Dritter, die sich dem Roboter nun direkt nähern können. Die Risiken erhöhen

sich noch beim Einsatz lernender, Entscheidungen treffender Maschinen oder durch die Vernetzung der Maschinen. Denn dadurch entstehen eine erhebliche Unvorhersehbarkeit des Verhaltens der Maschine sowie Beweisprobleme bezüglich der Ursache eines Fehlverhaltens. Im Folgenden soll jedoch, um die Bedeutung der rechtlichen Begleitung schon für den Ist-Stand zu verdeutlichen, die mögliche strafrechtliche Fahrlässigkeitshaftung bei der aktuellen MRK im Vordergrund stehen.

Die MRK aus rechtlicher Perspektive

Die MRK wirft nicht nur Fragen der strafrechtlichen Fahrlässigkeitshaftung auf, sondern wird über den hier vorgenommenen Fokus auch in

anderen Rechtsgebieten zu diskutieren sein. Im Zivilrecht wird man nicht nur die vertragliche und nicht-vertragliche Haftung für (materielle) Schäden analysieren müssen, sondern auch, ob beziehungsweise unter welchen Bedingungen die Verpflichtung zur Kollaboration arbeitsrechtlich zulässig ist und wie die MRK versicherungsrechtlich zu regeln sein wird – in Betracht

Strafbarkeit wegen fahrlässiger Körperverletzung (§ 229 StGB) oder fahrlässiger Tötung (§ 222 StGB). Gegen diese Rechtsfolge ist, da sie immer den fehlerhaft Handelnden direkt trifft, auch keine Versicherung oder ähnliches möglich.

Grundsätzlich setzt die Strafbarkeit wegen fahrlässigen Verhaltens voraus (die einzelnen Voraussetzungen und de-

uns vor bisher unbekannte Situationen, es gibt dazu kaum allgemeingültige Standards. Zwar finden sich zur Robotik einige ISO- und DIN-Normen, von diesen sind jedoch nicht alle Fallkonstellationen erfasst, nicht wenige dieser Normen sind veraltet oder inzwischen ungültig. Auch werden gelegentlich Zweifel an der Bezugnahme auf solche Normen geäußert, werden sie doch re-



Abbildung 1
Ein Techniker steuert im Mercedes-Benz Werk einen Industrieroboter, der Leichtbau-Fahrzeugteile produziert.
Foto: Axel Heimken / dpa

Abbildung 2
Die neue Mensch-Roboter-Kooperation in der Auto-Produktion. Hier arbeitet der Roboter Hand in Hand mit dem Menschen – ohne Sicherheitsabspernung.
Foto: picture alliance / obs / Audi AG

kommen etwa Pflichtversicherungen. Im Öffentlichen Recht ist zum einen mit dem Roboter als Gefahrenquelle umzugehen, das heißt, es sind unter anderem Zulassungsregeln zu finden, Einsatzbereiche festzulegen, Genehmigungserfordernisse und Kontrollen einzurichten. Auch der Einsatz von Robotern zur Gefahrenabwehr, etwa bei der Unterstützung polizeilicher Arbeit, wird zu regeln sein.

Fahrlässigkeitshaftung im Strafrecht

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Bereichen Forschung und Produktion der Robotik haben Bedenken, sich mit ihrem Verhalten strafbar zu machen. Wird durch die Maschine ein Mensch verletzt oder gar getötet, droht eine

ren Beziehungen zueinander sind im Detail umstritten):

- dass der Handelnde gegen einen allgemein anerkannten Sorgfaltsmaßstab verstößt,
- dass der hervorgerufene Schaden objektiv und subjektiv vorhersehbar war,
- dass die Handlung nicht vom gesellschaftlich akzeptierten Risiko gedeckt war.

In der MRK wird die Beurteilung dieser Aspekte vor einige Herausforderungen gestellt. So orientiert sich der Sorgfaltsmaßstab bezüglich des zulässigen Verhaltens traditionell an dem von einer vernünftigen Person in der konkreten Situation erwartbaren Verhalten; als Indizien werden meist außerrechtliche Standards und soziale Üblichkeiten herangezogen. Die MRK aber stellt

regelmäßig von bestimmten Interessengruppen in nicht immer transparenten Verfahren erlassen. Die möglicherweise einseitige Repräsentation von Interessen gilt noch verstärkt für unternehmensinterne Regelungen. Fehlende Standards sollten natürlich nicht per se zu umfassenden Handlungsverböten führen. Solange es keine adäquaten Normen gibt, ist auf das erlaubte Risiko zu blicken. Sollen solche Standards erlassen werden, ist ein transparentes Verfahren wichtig, möglichst auch unter Einbeziehung der Vertreter unterschiedlicher Interessen und normativer Disziplinen und mit Blick auf die Werte der staatlichen Rechtsordnung.

Ein weiteres Problem stellt sich beim Erfordernis der *Vorhersehbarkeit*. Grundsätzlich

gilt es auch in der Robotik, vorhersehbare Schädigungen für Dritte zu vermeiden. Die MRK begründet zweifellos eine statistische, abstrakte Gefahr für die Beteiligten. Zugleich sind die konkreten Situationen und Handlungen des Roboters unvorhersehbar, die Entscheidungen der Maschine nicht umfassend kontrollierbar, und die menschlichen Akteure haben bisher nur wenig Erfahrung im Umgang mit Robotern. Es stellt sich deshalb die Frage, wie spezifisch die Vorhersehbarkeit sein muss: Fordert man Vorhersehbarkeit der konkreten Situation, wird es nur selten zu einer strafrechtlichen Haftung kommen; reicht die Vorhersehbarkeit in einem statistischen Sinn, könnte sehr häufig eine Strafbarkeit zu bejahen sein – und im Ergebnis auch die Weiterentwick-

lung dieser Maschinen unangemessen behindert werden. Deshalb scheint dieses Kriterium im Kontext der MRK keine relevante Hürde für die Bestimmung der Fahrlässigkeit darzustellen.

Vielmehr sollte der Fokus auf dem *erlaubten Risiko* liegen. Auch darauf, welches Risiko in diesem Bereich erlaubt ist, hat sich die Gesellschaft derzeit noch nicht einigen können. Sobald es gesetzliche Regelungen gibt, spiegeln diese die Einigung weitgehend. Erlaubt wird ein gewisses Risiko typischerweise deshalb, weil eine Technologie erhebliche Vorteile birgt – für die Gesellschaft, im Fall der MRK aber auch für Arbeitgeber und Arbeitnehmer, der gegebenenfalls weniger stark körperlich beansprucht wird. Die Ermittlung des erlaubten Risikos

erfordert eine Auseinandersetzung mit ebendiesen Vorteilen, aber auch den möglichen Nachteilen. Das heißt also, es müsste abgewogen werden, in welchen Lebensbereichen eine voranschreitende Automatisierung wünschenswert erscheint und in welchen nicht; ob bestimmte Menschen von einer (verpflichtenden) Interaktion mit gefährlichen Robotern auszunehmen sind, zum Beispiel Kinder oder einwilligungsunfähige Patienten, sowie über die konkreten Bedingungen für einen möglichst sicheren Einsatz derartiger Maschinen. Ebenfalls relevant für die Überlegungen zum erlaubten Risiko ist, wer eigentlich vom Einsatz der Maschine profitiert, wer die optimalen Steuerungsmöglichkeiten hat und wer in welchem Maß auf das Verhalten der Maschine Einfluss nehmen kann. Solange

Ein **Fallbeispiel**, anhand dessen die rechtlichen Probleme der MRK und die Haftungsrisiken für die Beteiligten aufgezeigt werden:

Industriearbeiter A arbeitet im Werk des Automobilherstellers X. Seit ein paar Monaten wird in der Fertigung ein Roboter eingesetzt, mit dem die Arbeiter direkt zusammenarbeiten – die Arbeiter dirigieren den Weg, der Roboter setzt die Teile ein und die Arbeiter kontrollieren einer unternehmensinternen Bestimmung entsprechend das Produktionsergebnis. Der Roboter ist nicht zertifiziert, entspricht jedoch der EN ISO 10218 und wird nach einer Risikobeurteilung unternehmensintern als sicher eingestuft. Unter anderem hört er mit seiner automatisierten Bewegung auf, wenn er einen Menschen in einer bestimmten »safety zone« bemerkt. Eine weitere unternehmensinterne Richtlinie besagt, dass man sich dem Roboter nur frontal nähern soll. A hat mit

dem Roboter zunächst nichts zu tun, als jedoch ein Kollege erkrankt, bittet ihn sein Vorgesetzter, dessen Arbeitsplatz zu übernehmen, gibt A die unternehmensinternen Richtlinien und kurze Anweisungen zur Bedienung. A macht sich an die Arbeit. Zunächst funktioniert die Zusammenarbeit mit dem Roboter reibungslos. Einige Male gelangt A aber in die »safety zone«, die von seinem erkrankten Kollegen eingestellt wurde. Da danach jedes Mal der Roboter still steht, beschließt A, die »safety zone« kleiner zu stellen. Das ist zwar möglich, widerspricht allerdings den unternehmensinternen Richtlinien. Der Kollege des A, C, geht davon aus, dass alle Roboter eine ähnliche »safety zone« hätten und nähert sich deshalb unbekümmert dem Roboter. Tatsächlich erkennt der Roboter ihn aufgrund der geänderten Einstellung nicht schnell genug und der Greifer verletzt C am Oberarm. A argumentiert, dass der Roboter

immer noch der ISO-Norm entsprochen hätte und unternehmensinterne Richtlinien keine rechtliche Relevanz hätten. Außerdem sei für ihn nicht vorhersehbar gewesen, dass C – der sonst einen ganz anderen Arbeitsbereich hat – gerade an diesem Tag in die Nähe des Roboters geht. Der Roboter solle gerade individuell einstellbar sein und nur das habe er ja gemacht – dass der Roboter bei seinen Bewegungen jemanden mit dem Greifarm schädigen könne, hätte er als Laie wohl nicht wissen können. C meint, er habe auch nicht wissen können, dass der Roboter so reagiere.

An diesem Beispiel zeigen sich verschiedene rechtliche Probleme: So ist der konkrete Unfall jedenfalls für Programmierer und Hersteller des Roboters keinesfalls vorhersehbar. Auch haben sie aufgrund des konkreten Trainings durch Nutzer A keinen Einfluss mehr auf die spezifische Sicher-

heit gerade dieser Maschine. A konnte jedoch ebenfalls nicht vorhersehen, dass gerade ein solcher Unfall eintreten könnte. Es zeigt sich hier zudem, dass die bloße Einhaltung von außerrechtlichen Normen nicht zu einem Haftungsausschluss für die Beteiligten führt. Selbst wenn die unternehmensinternen Richtlinien tatsächlich keine Rechtskraft haben, dienen sie doch der Orientierung, zumindest solange sie die Werte der Gesamtgesellschaft nicht außer Acht lassen – dafür gibt es hier keine Hinweise. Der Fall zeigt auch, dass insbesondere das Einstellen auf den unbekanntesten Akteur »Maschine« noch eine Weile dauern wird und bis dahin das Risiko von Schädigungen erhöht ist.

Das zeigt sich umso mehr, wenn das maschinelle Handeln unbeteiligten Dritte betrifft:

Im Folgenden dreht der Roboter bei einigen Kfz eine Schraube

ausdrückliche gesetzliche Regelungen fehlen, muss der Rechtsanwender diese Überlegungen selbst anstellen und so festlegen, ob sich das Verhalten der Akteure im Rahmen des erlaubten Risikos bewegt.

Ein Sonderproblem stellt die Anwendung des so genannten *Vertrauensgrundsatzes* dar. Während man bei Kooperationen üblicherweise auf die Sorgfalt der anderen Beteiligten vertrauen darf, steht dem in der Robotik gerade die Unbekanntheit des Verhaltens der Maschine und die Unvorhersehbarkeit ihrer Entscheidungen und Handlungen entgegen. Die Möglichkeit des Vertrauens auf die Maschine ist daher derzeit abzulehnen, solange Roboter nicht dauerhaft als Akteure in der Gesellschaft etabliert, bekannt und berechenbar sind. Bei der Zusam-

menarbeit mit Maschinen ist deshalb jedenfalls derzeit noch deutlich erhöhte Vorsicht im Vergleich mit der Zusammenarbeit mit Menschen anzuwenden.

Zusammenfassung

Durch die Entwicklungen in der Robotik wird das Recht vor neue Herausforderungen gestellt. Erforderlich werden unter anderem Anpassung der Verhaltensstandards und Umverteilung der Verantwortung, neue Gesetze und neue außerrechtliche Standards. Für die Fahrlässigkeit bedeutet das konkret:

- Mangels eindeutiger Verhaltenserwartungen ist beim Umgang mit Robotern derzeit grundsätzlich besonders hohe Sorgfalt anzuwenden.

- Der Vertrauensgrundsatz ist derzeit auf Maschinen nicht anwendbar.
- Außerrechtliche und unternehmensinterne Standards sind auf ihre Übereinstimmung mit rechtlichen Wertungen intensiv zu überprüfen und nicht direkt in das (Straf-)Recht zu übertragen.
- Bei der Erarbeitung außerrechtlicher Normen ist ein transparenter, »demokratischer« Prozess erforderlich; Ethiker und Juristen sind in die Entwicklung einzu beziehen.
- Letztlich muss die Gesellschaft entscheiden, wer mit Robotern interagieren darf und in welchen Lebensbereichen unter welchen Bedingungen die Kollaboration von Mensch und Maschine hinreichend sicher und sozialadäquat ist.



Prof. Dr. Susanne Beck

Jahrgang 1977, ist Inhaberin des Lehrstuhls für Strafrecht, Strafprozessrecht, Strafrechtsvergleichung und Rechtsphilosophie am Kriminalwissenschaftlichen Institut der Juristischen Fakultät. Sie arbeitet an der Leibniz Universität in interdisziplinären Kooperationen an verschiedenen rechtlichen Aspekten dieser technologischen Entwicklung und engagiert sich für eine gesellschaftliche Debatte der Vor- und Nachteile einer stärkeren Automatisierung in unterschiedlichen Lebensbereichen. Kontakt: susanne.beck@jura.uni-hannover.de

nicht ganz fest – ein Risiko, das vorher vom Hersteller des Roboters mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 % eingeschätzt wurde und deshalb als zu vernachlässigen angesehen wurde. Das Risiko wurde den Firmen, die den Roboter einsetzen, aber kommuniziert. Aufgrund der falsch eingesetzten Schraube kommen einige Kfz von der Straße ab, wodurch drei Passanten verletzt werden. Die Ursache des Fehlers kann im Nachhinein nicht sicher festgestellt werden; denkbar ist ein Fehler des Programmierers, des Herstellers, aber auch desjenigen, der die Roboter im Automobilunternehmen einsetzte und an die Aufgaben anpasste. Es lässt sich jedoch feststellen, dass eine Kontrolle durch A – wie sie in den unternehmensinternen Richtlinien vorgeschrieben ist – mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zur rechtzeitigen Entdeckung des Fehlers geführt hätte. Zutreffend ist aber auch, dass bei einer Arbeitsteilung mit

einem Kollegen bei ähnlichen Aufgaben im Unternehmen keine gegenseitige Kontrolle stattfindet, da sich dies als unnötig erwiesen hatte. A weiß, dass er eigentlich das Produkt kontrollieren sollte – da er sich aber auch bei Kollegen auf deren Arbeit verlassen könne, müsse das doch bei Robotern erst recht gelten, da die doch noch genauer arbeiten.

Neben der Komplexität bei der Fehlerermittlung zeigt dieses Beispiel auch, dass aufgrund der Unbekanntheit der Maschine derzeit noch kein Vertrauen auf deren Verhalten möglich ist. Ob und unter welchen Bedingungen eine Maschine zuverlässig handelt, ist von außen nicht erkennbar. Besteht die Möglichkeit, dass die Maschine auch unbeteiligte Dritte schädigt, ist deshalb besonders vorsichtig zu agieren. Sind Kontrollen vorgeschrieben, ist es für die Sicherheit aller potenziell Betroffenen essentiell, sie durchzuführen.

Personalia und Preise

BERUFUNGEN

Rufe an die Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr. **Martin Doeven-speck**, Universität Bayreuth, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Kulturgeographie abgelehnt.

Prof. Dr. **Claus Feldmann**, Karlsruhe Institute of Technology, hat den Ruf auf die W3-Professur für Anorganische Molekül- und Materialchemie abgelehnt.

Prof. Dr. **Michael Granitzer**, Universität Passau, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Data Science und Digital Libraries erhalten.

Apl. Prof. Dr. **Michèle Heurs**, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut), hat einen Ruf auf eine W2-Professur für Nichtklassische Laserinterferometrie erhalten.

Prof. Dr. **Nils Hoppe**, Leibniz Universität Hannover, Institut für Philosophie, hat einen Ruf auf eine W2-Professur für Regulierung in den Lebenswissenschaften angenommen.

PD Dr. **Markus Jäger**, Technische Universität Dortmund, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Bau- und Stadtgeschichte erhalten.

Akademischer Rat PD Dr. **Karsten Krüger**, Universität Gießen, hat einen Ruf auf eine W2-Professur für Sport und Gesundheit erhalten.

Prof. Dr. **Ralf Küsters**, Universität Trier, hat einen Ruf auf die W3-Professur für IT-Sicherheit abgelehnt.

Prof. Dr.-Ing. habil. **Daniel Lohmann**, FAU Erlangen-Nürnberg, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für System- und Rechnerarchitektur angenommen.

Prof. Dr. **Bettina Valeska Lotsch**, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, hat einen Ruf auf die W3-Professur für Anorganische Molekül- und Materialchemie abgelehnt.

Prof. Dr. **Matteo Maffei**, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für IT-Sicherheit erhalten.

Prof. Dr. **Martina Neuburger**, Universität Hamburg, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Kulturgeographie erhalten.

Prof. Dr. **Daniel Peterseim**, Universität Bonn, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Numerische Analysis erhalten.

Prof. Dr. **Dirk Praetorius**, Technische Universität Wien, hat den Ruf auf die W3-Professur für Numerische Analysis abgelehnt.

PD Dr. **Felipe Temming**, Universität zu Köln, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Bürgerliches Recht, Arbeitsrecht und ein weiteres Fach angenommen.

Prof. Dr.-Ing. **Bernhard Wicht**, Hochschule Reutlingen, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Entwurf integrierter Mixed-Signal-Schaltungen angenommen.

Rufe nach außerhalb

Prof. Dr.-Ing. **Rolf Brendel**, Institut für Festkörperphysik, hat einen Ruf auf die W3-Professur für Solare Energiesysteme an der Universität Freiburg erhalten.

Prof. Dr. **Stefan Eichler**, Institut für Geld und Internationale Finanzwirtschaft, hat einen Ruf der TU Dresden angenommen.

Prof. Dr. **Michael Gamper**, Deutsches Seminar, hat den Ruf auf die W3-Professur für Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft an der Freien Universität Berlin angenommen.

Prof. Dr. **Julia Gillen**, Institut für Berufspädagogik und Erwachsenenbildung, hat einen Ruf auf eine Professur an der Technischen Universität Dresden abgelehnt.

Prof. Dr. **Christian Heinze**, Institut für Rechtsinformatik, hat einen Ruf auf eine Professur für Bürgerliches Recht, Recht des Geistigen Eigentums sowie deutsches und europäisches Verfahrensrecht an der Universität Mannheim abgelehnt.

Prof. Dr. **Nils Hoppe**, Institut für Philosophie, hat den Ruf eines Chairs in Law an der University of Portsmouth abgelehnt.

Prof. Dr. **Dirk Lange**, Institut für Didaktik der Demokratie, hat den Ruf auf die W3-Professur für Didaktik der politischen Bildung an der Universität Wien abgelehnt.

Prof. Dr. **Kathrin Leuze**, Institut für Soziologie, hat einen Ruf auf eine W3-Professur für Methoden der empirischen Sozialforschung und Sozial-

strukturanalyse an der Friedrich-Schiller-Universität Jena angenommen.

Prof. Dr.-Ing. **Gerhard Poll**, Institut für Maschinenkonstruktion und Tribologie, hat ein Angebot aus der freien Wirtschaft abgelehnt.

Prof. Dr.-Ing. **Steffen Schön**, Institut für Erdmessung, hat den Ruf auf die W3-Professur für Navigation und geodätische Auswertemethoden an der Universität Stuttgart abgelehnt.

Jun Prof. Dr. David **Zimmermann**, Institut für Sonderpädagogik, hat einen Ruf der Humboldt-Universität Berlin angenommen.

Ernennung zur Universitätsprofessorin/ zum Universitätsprofessor

Dipl.-Ing. **Mirco Becker**, Fachgebiet Digitale Methoden in der Architektur, wurde zum 1. August 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

PD Dr. Benjamin **Felix Burkhard**, Fachgebiet Physische Geographie, wurde zum 1. Oktober 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Dr. **Fei Ding**, Fachgebiet Experimentelle Nanophysik, wurde zum 1. September 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Dr. **Ghislain Fourier**, Fachgebiet Reine Mathematik, wurde zum 1. Oktober 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

PD Dr. **Marcus Andreas Horn**, Fachgebiet Bodenmikrobiologie, wurde zum 1. April 2016 zum Universitätsprofessor an

der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Prof. Dr. **Ingo Liefner**, Fachgebiet Wirtschaftsgeographie, wurde zum 1. Oktober 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Prof. Dr.-Ing. **Dirk Manteuffel**, Fachgebiet Hochfrequenztechnik und Funksysteme, wurde zum 1. Juni 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Apl. Prof. Dr. **Jan Schmidt**, Fachgebiet Photovoltaik Materialforschung, wurde zum 1. Mai 2016 Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

PD Dr. **Felipe José Temming**, Fachgebiet Deutsches, Europäisches Privat- und Wirtschaftsrecht, wurde zum 12. Oktober 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Prof. Dr. **Peter Titzmann**, Fachgebiet Entwicklungspsychologie, wurde zum 1. Oktober 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Prof. Dr. **Emil Wiedemann**, Fachgebiet Angewandte Mathematik, wurde zum 1. September 2016 zum Universitätsprofessor an der Leibniz Universität Hannover ernannt.

Verleihung des Titels »Außerplanmäßige Professorin/ Außerplanmäßiger Professor«

Dr. **Christiane Miosga**, Philosophische Fakultät, wurde mit Wirkung vom 27. Mai 2016 die Befugnis verliehen, den Titel »Außerplanmäßige Professorin« zu tragen.

Bestellungen zur Honorarprofessorin/ zum Honorarprofessor

Dr. **Kai Gent**, Lehrbeauftragter an der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, wurde am 10. Juni 2016 zum Honorarprofessor an der Leibniz Universität Hannover bestellt.

Dr.-Ing. **Lasse Petersen**, Lehrbeauftragter an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, wurde am 24. Oktober 2016 zum Honorarprofessor an der Leibniz Universität Hannover bestellt.

Dr.-Ing. **Stephan Pöhler**, Lehrbeauftragter an der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, wurde am 10. Juni 2016 zum Honorarprofessor an der Leibniz Universität Hannover bestellt.

Dr. **Karsten Scholz**, Lehrbeauftragter an der Juristischen Fakultät, wurde am 26. Februar 2016 zum Honorarprofessor an der Leibniz Universität Hannover bestellt.

GASTWISSENSCHAFT- LERINNEN/ GASTWISSENSCHAFTLER

Dr. **Hoang Tuan Ahn**, Vietnam, ist vom 1. September 2016 bis 28. Februar 2019 Gastwissenschaftler am Forschungszentrum L3S.

Dr. **Ralf Lehnert**, Indiana University Bloomington, USA, ist vom 1. September 2016 bis 28. Februar 2017 Gastwissenschaftler am Institut für Quantenoptik.

Dr. **Nitin Patil**, Indien, ist vom 2. Oktober 2016 bis 30. Dezember 2016 Gastwissenschaftler am Institut für Organische Chemie.

Dr. **Norbert Hoffmann**, Mary Immaculate College, Irland, ist vom 1. August 2016 bis 15. De-

zember 2016 Gastwissenschaftler am Institut für Algebra, Zahlentheorie und Diskrete Mathematik.

Sung Ju Hong, Seoul National University, Korea, Seoul ist vom 1. Juli 2016 bis 31. Mai 2018 Gastwissenschaftler am Institut für Festkörperphysik.

PhD **Elena Kornienko**, Novosibirsk State Technical University, Russland, ist vom 15. September 2016 bis 15. Dezember 2016 Gastwissenschaftlerin am Institut für Werkstoffkunde.

Prof. **Anton Krysko**, Saratov State Technical University, Russland, ist vom 15. September 2016 bis zum 14. Dezember 2016 Gastwissenschaftler am Institut für Baumechanik und numerische Mechanik.

PhD **Olga Lenivtseva**, Novosibirsk State Technical University, Russland war vom 1. September 2016 bis 30. November 2016 war Gastwissenschaftlerin am Unterwassertechnikum Hannover.

Dr. **Davide Lombardo**, Université de Paris-Sud (Paris XI), Frankreich, war vom 1. September 2016 bis 30. September 2016 Gastwissenschaftler am Institut für Algebra, Zahlentheorie und Diskrete Mathematik.

Dr. **Joshua Luczak**, Georgetown University, USA ist vom 1. August 2016 bis 28. Februar 2017 Gastwissenschaftler am Institut für Philosophie.

Dr. **Alexi Morin-Duchesne**, Katholieke Universiteit Leuven, Belgien, war vom 10. Oktober 2016 bis zum 21. Oktober 2016 Gastwissenschaftler am Institut für Theoretische Physik.

Prof. **Paul A. Pearce**, University of Melbourne, Australien, war vom 17. September 2016 bis 19. November 2016 Gast-

wissenschaftler am Institut für Theoretische Physik.

Prof. **Nan Zheng**, University of Arkansas, USA, war vom 26. August 2016 bis zum 12. Dezember 2016 Gastwissenschaftler am Institut für Technische Chemie.

Dr. **Hashem Zoubi** ist vom 1. Januar 2015 bis zum 31. Dezember 2017 Gastwissenschaftler am Institut für Gravitationsphysik.

Prof. Dr. **Bengt-Ove Andreassen**, Universitetet i Tromsø, Norwegen, war vom 17. Oktober 2016 bis zum 21. Oktober 2016 Gastwissenschaftler am Institut für Theologie und Religionswissenschaften.

Dr. **Maria Laura De Bellis**, Università del Salento, Italien, ist vom 1. Januar 2017 bis 31. Dezember 2017 Gastwissenschaftlerin am Institut für Kontinuumsmechanik.

Dr. **Faryal Idrees**, The University of Lahore, Pakistan, ist vom 1. Januar 2017 bis 31. Dezember 2018 Gastwissenschaftlerin am Institut für Technische Chemie.

Dr. **Daniel Obenchain**, Wesleyan University, USA, ist vom 1. September 2016 bis zum 31. August 2018 Gastwissenschaftler am Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie.

Prof. Dr. **Antonio Otavio de Toledo Patrocínio**, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Brasilien, ist vom 1. November 2016 bis 31. Januar 2018 Gastwissenschaftler am Institut für Technische Chemie.

Dr. **Filippo Ridolfi**, Università degli Studi di Urbino „Carlo Bo“, Italien, ist vom 1. Januar 2017 bis zum 30. Juni 2017 Gastwissenschaftler am Institut für Mineralogie.

Dr. **Elvira Narvaja de Arnoux**, Universidad de Buenos Aires, Argentinien ist vom 15. Oktober 2016 bis 18. Dezember 2016 Gastwissenschaftlerin am Romanischen Seminar.

Dr. **Gregor Bruns** ist vom 1. November 2016 bis 28. Februar 2017 Gastwissenschaftler am Riemann Center for Geometry and Physics.

Prof. **Alfredo Gay Neto**, Universidade de São Paulo, Brasilien ist vom 1. Dezember 2016 bis zum 31. Januar 2017 Gastwissenschaftler am Institut für Kontinuumsmechanik.

Yang Hui, China, ist vom 1. Dezember 2016 bis 30. November 2017 Gastwissenschaftlerin am Institut für Bodenkunde.

Dr. **Luca Romano**, Italien, ist vom 1. November 2016 bis 28. Februar 2017 Gastwissenschaftler am Riemann Center for Geometry and Physics.

Prof. Dr. **Ravindra Singh**, Indian Council for Cultural Relations (ICCR), Indien, ist vom 5. Oktober 2016 bis 14. April 2017 Gastwissenschaftler am Institut für Deutsches und Europäisches Privatrecht und Wirtschaftsrecht.

Dr. **Alessandra Vittorini Oregas**, University of Melbourne, Australien, war vom 23. September 2016 bis 2. November 2016 Gastwissenschaftlerin am Institut für Theoretische Physik.

RUHESTAND

Prof. Dr. **Klaus Hölker**, Romanisches Seminar, trat mit Ablauf des 30. September 2016 in den Ruhestand.

Prof. Dr. **Hans-Michael Poehling**, Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, trat mit Ablauf des 31. März 2016 in den Ruhestand.

Prof. Dr. Dr. **Peter Salje**, Institut für Deutsches und Europäisches Privatrecht und Wirtschaftsrecht, trat mit Ablauf des 31. März 2016 in den Ruhestand.

Prof. Dr.-Ing. **Brita Maria Watkinson**, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Humanernährung, trat mit Ablauf des 30. September 2016 in den Ruhestand.

BEENDIGUNG DES BEAMTENVERHÄLTNISSES KRAFT GESETZES

Prof. Dr. **Michele Barricelli**, Historisches Seminar, ist mit Ablauf des 31. Juli 2016 kraft Gesetzes aus dem Beamtenverhältnis zum Land Niedersachsen ausgeschieden.

Prof. Dr. **Michael Gamper**, Deutsches Seminar, ist mit Ablauf des 30. September 2016 kraft Gesetzes aus dem Beamtenverhältnis zum Land Niedersachsen ausgeschieden.

BEENDIGUNG DES DIENSTVERHÄLTNISSES ALS JUNIORPROFESSORIN ODER JUNIORPROFESSOR

Jun.-Prof. Dr. **Svenja Lagerhausen**, Institut für Produktionswirtschaft, hat mit Ablauf des 31. August 2016 ihr Dienstverhältnis als Juniorprofessorin beendet.

Jun.-Prof. Dr. **Sascha Offermann**, Institut für Botanik, hat mit Ablauf des 30. März 2016 sein Dienstverhältnis als Juniorprofessor beendet.

Jun.-Prof. Dr. **Panagiotis Papadimitriou**, Institut für Kommunikationstechnik, hat mit Ablauf des 31. August 2016 sein Dienstverhältnis als Juniorprofessor beendet.

SONSTIGES

Ulrike Brouzi, Vorstandsmitglied der NORD/LB, ist als Nachfolgerin von Sepp Dieter Heckmann in den Hochschulrat der Leibniz Universität Hannover bestellt worden.

Prof. Dr.-Ing. **Jessica Burgner-Kahrs**, Mechatronik-Zentrum Hannover, ist als eines von zehn neuen Mitgliedern in die Junge Akademie an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina aufgenommen worden.

Prof. Dr. **Jürgen Caro**, Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie, ist neu gewähltes Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften (SAW).

Prof. Dr. **Volker Epping**, Präsident der Leibniz Universität Hannover, ist in der Mitgliedergruppe Universitäten der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) zum stellvertretenden Sprecher gewählt worden, die Amtszeit hat am 1. August 2016 begonnen.

Prof. Dr. **Wolfgang Ertmer**, Institut für Quantenoptik, ist von der Mitgliederversammlung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für weitere vier Jahre in seinem Amt als Vizepräsident bestätigt worden.

Prof. Dr. **Klaus Hulek**, Institut für Algebraische Geometrie, ist zum Chefredakteur von zbMATH, dem weltweit größten Referateorgan zur reinen und angewandten Mathematik und ihrer Anwendungen, ernannt worden.

VERSTORBEN

PD Dr. phil. habil. **Claus Peter Ahlzweig**, ehemals Deutsches Seminar, verstarb am 10. Mai 2016 im Alter von 72 Jahren.

Dr.-Ing. **Peter Bast**, ehemals Institut für Gestaltung und Darstellung, verstarb am 12. Juni 2016 im Alter von 73 Jahren.

Stefan Bork, Verwaltung (Dezernat 1) verstarb am 2. Juni 2016 im Alter von 52 Jahren.

Prof. Dr. **Hans-Ernst Folz**, ehemals Juristische Fakultät, verstarb am 9. Juli 2016 im Alter von 83 Jahren.

Karl Ferdinand Albert Göbel, ehemals Verwaltung (Dezernat 2) und langjähriges Mitglied des Senats der Leibniz Universität Hannover, verstarb am 7. September 2016 im Alter von 74 Jahren.

Obersporträtin a.D. **Hede Harbusch**, ehemals Institut für Sportwissenschaft, verstarb am 7. August 2016 im Alter von 81 Jahren.

Prof. Dr.-Ing. **Günter Harder**, ehemals Institut für Städtebau, Wohnungswesen und Landesplanung, verstarb am 11. Juli 2016 im Alter von 86 Jahren.

Sascha Klopp, Leibniz IT-Services, verstarb am 11. September 2016 im Alter von 40 Jahren.

Lutz Krüger, Institut für Botanik, verstarb am 24. September 2016 im Alter von 50 Jahren.

Prof. Dr. rer. pol. **Udo Müller**, ehemals Institut für Volkswirtschaftslehre, verstarb am 6. April 2016 im Alter von 80 Jahren.

Horst Reimann, ehemals Verwaltung (Dezernat 3), verstarb am 5. September 2016 im Alter von 65 Jahren.

Prof. **Edelgard Waltraut Schwinning**, ehemals Fachbereich Erziehungswissenschaften, verstarb am 29. Juni 2016 im Alter von 85 Jahren.

Prof. Dipl.-Ing. **Friedrich Spengelin**, ehemaliger Dekan der Fakultät für Bauwesen sowie ehemaliger Dekan des Fachbereichs Architektur, verstarb am 30. April 2016 im Alter von 91 Jahren.

Prof. Dr. rer. nat. **Heinrich Wippermann**, ehemals Institut für Didaktik der Mathematik und Physik, verstarb am 17. August 2016 im Alter von 76 Jahren.

PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

Prof. Dr. **Bruce Allen** und Prof. Dr. **Karsten Danzmann**, Direktoren am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut/AEI) in Hannover und Professoren am Institut für Gravitationsphysik, wurden am 23. August 2016 zusammen mit Prof. Dr. Alessandra Buonanno, Direktorin am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut/AEI) in Potsdam, für ihre fundamentalen Beiträge zur Entdeckung von Gravitationswellen vom Niedersächsischen Ministerpräsidenten mit dem Niedersächsischen Staatspreis geehrt worden. Der Preis ist mit 35.000 Euro dotiert.

Dr. **Nadja Bielecki**, Doktorandin am Institut für Soziologie, ist für ihre herausragende Dissertation »The Power of Collegiality. A qualitative analysis of university presidents' leadership in Germany« von der Gesellschaft für Hochschulforschung mit dem Ulrich-Teichler-Preis 2016 ausgezeichnet worden.

Prof. Dr. **Dieter Bitter-Suermann**, ehemaliger Präsident der Medizinischen Hochschule Hannover, ist von der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität für seine wissenschaftlichen Leistungen und seine Verdienste um die Forschungs Kooperation mit der MHH mit einer Ehrendoktorwürde ausgezeichnet worden.

Dominik Brouwer, **Thomas Krawczyk** und **Daniel Niederwestberg**, Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, haben einen Sonderpreis des Verbundes der Technologiezentren in Mecklenburg-Vorpommern erhalten. Die Auszeichnung wurde ihnen für die Entwicklung einer neuartigen Maschine zur leichteren Bearbeitung von Großbauteilen von Windkraftanlagen oder Flugzeugen verliehen.

Mit dem Technikwissenschaftlichen Preis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften 2016 ist Prof. Dr.-Ing. **Jessica Burgner-Kahrs**, Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik, ausgezeichnet worden. Der Preis wird für herausragende technikwissenschaftliche Leistungen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Forschung oder Wirtschaft verliehen und ist mit einem Preisgeld von 10.000 Euro dotiert.

Prof. Dr. **Utz Claassen**, Honorarprofessor am Institut für Controlling, erhielt den Preis als »Innovativster Unternehmer International 2016«, der im Zusammenhang mit dem »Innovationspreis der deutschen Wirtschaft« Mitte April in Darmstadt verliehen wurde.

Max Coenen M.Sc. hat mit seiner am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation erstellten Masterarbeit beim Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis den 1. Platz belegt.

Die Deutsche Arbeitsgemeinschaft Vorderer Orient für gegenwartsbezogene Forschung und Dokumentation e. V. hat

Christian Funke M.A., Institut für Theologie und Religionswissenschaft, den DAVO-Dissertationspreis 2016 für die beste deutsch- oder englischsprachige Dissertation, die im Jahre 2015 eingereicht wurde, verliehen.

Dr.-Ing. **Christian Gebhardt**, Institut für Statik und Dynamik, ist vom Bundesministerium für Bildung und Forschung zum Juror des Wettbewerbs »Green Talents 2016« berufen worden, bei dem jährlich Auszeichnungen für Forschung auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit vergeben werden.

Dr. **Matthias Giesecke**, Laser Zentrum Hannover, ist für seine Arbeiten zur Additiven Fertigung von Magnesiumbauteilen mittels Selektivem Laserstrahlschmelzen mit dem IMA Award of Excellence 2016 der International Magnesium Association (IMA) geehrt worden.

Dustin Häbler, Doktorand am Institut für Stahlbau, ist für seine Promotion mit dem erstmals ausgelobten Forschungspreis des Deutschen Ausschusses für Stahlbau (DASt) ausgezeichnet worden.

Prof. Dr. **Christine Hatzky**, Historisches Seminar, ist von der Latin American Studies Association, dem weltweit größten Verband der Lateinamerikawissenschaften, mit dem Luciano Tomassini Award geehrt worden.

Dr. **Bianca Iwan**, Institut für Quantenoptik, ist eine von sechs Empfängerinnen des Peter Paul Ewald Fellowship, den die VolkswagenStiftung 2015 vergeben hat; dies ermöglicht neben der Forschung am Heimatinstitut einen Aufenthalt am LCLS in Stanford (USA).

Für ihre Masterarbeit im Fach Pflanzenbiotechnologie ist M.Sc. **Carina Köllen** mit dem Förderpreis 2016 des Arbeitskreises Deutsche In-vitro-Kulturen ausgezeichnet worden.

Dr. rer. pol. **Sabine Liebenheim**, Institut für Entwicklungs- und Agrarökonomik, hat den Josef G.Knoll Europäischer Wissenschaftspreis erhalten. Der Preis ist mit 10.000 Euro dotiert und wird alle zwei Jahre von der Stiftung fiat panis für Arbeiten verliehen, die der Verbesserung der Welternährung dienen.

Die Gruppe »kursiv«, **Tobias Möhlmann** und **Alina Engel** aus den Studienfächern Darstellendes Spiel und Germanistik, haben mit ihrem Projekt »Bilderbuchfamilien« das SCHREDDER-Theaterfestival in Braunschweig gewonnen.

Dr. **Björn Maronga**, Institut für Meteorologie und Klimatologie, ist für seine Dissertation mit dem Förderpreis der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft ausgezeichnet worden.

Das achtköpfige **Projektteam LUHbots** vom Institut für mechatronische Systeme belegte Ende April beim internationalen Roboter-Wettbewerb RoboCup@Work mit seiner Arbeit zur Entwicklung von Roboterplattformen für industrielle Anwendungen den ersten Platz.

Prof. Dr. **Bianca Maria Rinaldi**, Politecnico di Torino, hat ein Forschungsstipendium der Alexander-von-Humboldt-Stiftung für 18 Monate erhalten; sie wird zum Thema »Competing Identities. Gardens as Expressions of Cultural Differentiation from Post-Colonialism to Globalization (1950s–2010s)« am Centrum für Gartenkunst und Landschaftsarchitektur (CGL) forschen.

Die Ehrennadel der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft hat Prof. Dr.-Ing. **Karl-Heinz Rosenwinkel**, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, erhalten.

Prof. Dr. **Georg Steinhäuser**, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, ist zusammen mit Dr. Stefan Merz von der TU Wien und Assistent Prof. Dr. Katsumi Shozugawa von der Universität Tokio mit dem mit 10.000 Euro dotierten Stockmeyer Wissenschaftspreis 2016 ausgezeichnet worden. Die Wissenschaftler wurden für ihre Untersuchung zu Radioaktivität in Lebensmitteln nach dem Reaktorunglück in Fukushima geehrt, zu der sie bisher ungenutzte Messdaten aus der Präfektur Fukushima und Umgebung ausgewertet hatten.

Prof. Dr.-Ing. **Wolfgang Torge**, Emeritus am Institut für Erdmessung, hat von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Leibniz Universität für seine wissenschaftlichen Leistungen und Verdienste die Ehrenpromotion erhalten.

Prof. Dr. **Andreas Wagener**, Institut für Sozialpolitik, ist Sprecher des seit 2012 bestehenden Graduiertenkollegs »Globalization and Development – GLAD« der Universität Göttingen und der Leibniz Universität, dessen Förderung um viereinhalb Jahre verlängert wird.

Zukunft mit Energie



Hochspannend

TenneT ist einer der größten Investoren der Energiewende. Wir schließen gigantische Offshore-Windparks an unser Stromnetz an und sind damit federführend in der Umsetzung der Energiewende. Um die neu hinzukommenden Herausforderungen zu meistern, suchen wir kaufmännische und technische Nachwuchskräfte, die sich gerne mit Engagement und Energie neuen Herausforderungen stellen. TenneT bietet damit vielseitige Arbeitsplätze in einer Branche mit hohem Zukunftspotenzial.

Wir suchen

Nachwachskräfte mit Persönlichkeit und bieten beste Perspektiven für Hochschulabsolventen und Berufserfahrene (m/w) der Fachrichtungen

- **Elektro-/Energietechnik**
- **Maschinenbau**
- **Wirtschaftsingenieurwesen**
- **Wirtschaftswissenschaften**

Sie haben Freude daran, sich hochspannenden, abwechslungsreichen sowie verantwortungsvollen und herausfordernden Aufgaben in einem wachsenden Unternehmen zu stellen.

Auch wünschen Sie sich ein Arbeitsumfeld, das von Offenheit und gestalterischen Freiräumen geprägt ist, und in dem sich Eigenverantwortung und Teamgeist ergänzen, dann werden Sie Teil unseres Teams und machen mit uns die Energiewende wahr!

Interessiert an hochspannenden Jobs?

Die Stellenangebote unserer verschiedenen Standorte und die Möglichkeit zur Online-Bewerbung finden Sie auf unserer Homepage unter **www.tennet.eu**



TenneT ist einer der führenden Übertragungsnetzbetreiber in Europa. Mit rund 22.000 Kilometern Hoch- und Höchstspannungsleitungen in den Niederlanden und in Deutschland bieten wir 41 Millionen Endverbrauchern rund um die Uhr eine zuverlässige und sichere Stromversorgung.

TenneT entwickelt mit etwa 3.000 Mitarbeitern als verantwortungsbewusster Vorreiter den nordwesteuropäischen Energiemarkt weiter und integriert im Rahmen der nachhaltigen Energieversorgung vermehrt erneuerbare Energien.

Taking power further

HANNOVER



Jetzt mitmachen!

DEINE IDEE IM WETTBEWERB STARTUP-IMPULS

- Nutze die Chance auf Preise im Wert von **über 100.000 Euro**
- Bewerbungsschluss am **2. Januar 2017**

Informationen unter 0511 9357-700 sowie
www.startup-impuls.de

WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG

hannoverimpuls

Partner der Initiative und
Sponsor von hannoverimpuls:



Medienpartner:

