

Lehre, Forschung und Transfer am Beispiel der Robotik – vom RoboCup@Work zur autonomen Warenkommissionierung

Tobias Kaupp

Short Facts

Förderkennzeichen:	DIE-2010-0009
Projektlaufzeit:	01.02.2021 – 31.01.2024
Förderträger:	Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
Projektpartner:	Linde Material Handling
Fördersumme:	347.300 €

1 EINLEITUNG

Die Kernaufgaben der Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) sind praxisorientierte Lehre, angewandte Forschung und Transfer [1]. Nicht erst seit der geplanten Reform des Hochschulgesetzes und der Hightech Agenda des Freistaats Bayern werden die Forschungsaktivitäten an HAW zunehmend gestärkt. Dieser Trend wird auch von der Wirtschaft begrüßt, die Interesse an gemeinsamen Forschungsprojekten hat, sowie einem zunehmenden Fachkräftemangel vorbeugen muss.

Der Transfer in die Wirtschaft bedingt auch einen verstärkten Bedarf an Wissenschaftskommunikation als Transfer in die Öffentlichkeit, um die Gesellschaft in die Arbeit der Hochschulen einzubeziehen. »Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft [zu] stärken« gehört außerdem zu den großen forschungspolitischen Zielen des Pakts für Forschung und Innovation (2021–2030) zwischen Bund und Ländern [2].

Einer der Forschungsschwerpunkte an der HAW Würzburg-Schweinfurt (FHWS) sind Digitale Intelligente Systeme. In diesem Schwerpunkt werden u.a. Aspekte der Digitalisierung in Produktion, Fertigung, Handel und in der Gesellschaft betrachtet, die oftmals unter dem Stichwort Industrie 4.0 diskutiert werden. Zur Konsolidierung der Forschungsarbeiten im genannten Schwerpunkt wurde Anfang 2019 das fakultätsübergreifende Institut Digital Engineering (IDEE) gegründet [3]. Ziel ist es, interdisziplinäre und angewandte Forschung rund um das Themengebiet Digitale Produktion, in enger Kooperation mit der regionalen und überregionalen Industrie und Forschungseinrichtungen durchzuführen.

Das IDEE ist mit vier Forschungsprofessoren besetzt, die durch eine Lehrentlastung Freiräume für den Auf- und Ausbau von interdisziplinären Forschungsaktivitäten nutzen können. Das Center Robotik (CERI) ist eines der Aufgabengebiete des IDEEs mit den beiden Schwerpunkten »Robotergestützte Arbeitsplätze der Zukunft« sowie »Intralogistik in der Smart Factory«.

Dieser Artikel beschäftigt sich mit dem zweiten Schwerpunkt. Anhand der CERI-Aktivitäten im Bereich der fahrerlosen Transportsysteme wird aufgezeigt, wie der »Dreiklang« Forschung, Lehre und Transfer in der Praxis umgesetzt wird und die drei Bestandteile sich gegenseitig befruchten können.

Robotik in der Smart Factory

Die Robotik spielt bei einer intelligenten Fabrik eine wesentliche und äußerst vielseitige Rolle. Industrieroboter werden schon seit Jahrzehnten für Tätigkeiten eingesetzt, die eine große Wiederholgenauigkeit und Kraft benötigen, wie beispielsweise Schweißen und Handhabung von schweren Bauteilen. In den letzten zehn Jahren hat sich ein neues Automatisierungsparadigma entwickelt, das eine enge Zusammenarbeit zwischen Werkern und Leichtbaurobotern (Cobots) voraussetzt, die sogenannte Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) [4] [5]. Dabei werden gemeinsam Montagetätigkeiten durchgeführt, die flüssig und sicher ablaufen müssen und deshalb einen hohen Grad an Roboter-Intelligenz bedingen. Der Cobot muss die Intentionen des Menschen »verstehen« und auf Änderungen schnell und flexibel reagieren. Wie diese Ziele erreicht werden können, ist Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten [6].

Neben Produktions-, Handling-, und Montagetätigkeiten übernehmen Roboter in der modernen Fabrik immer mehr Intralogistikaufgaben [7] [8]. Bauteile und Werkzeuge müssen zeitnah zwischen verschiedenen Arbeitsstationen transportiert werden. Dafür müssen die sogenannten fahrerlosen Transportsysteme (FTS) in hochdynamischen Umgebungen sicher navigieren, Objekte in der Umgebung identifizieren, aufnehmen und wieder ablegen können.

Fahrerlose Transportsysteme

Fahrerlose Transportsysteme werden zwar schon seit den 1960er Jahren für Logistikaufgaben eingesetzt, benötigen aber in der Regel eine fixe Infrastruktur wie beispielsweise Leitlinien. Die Entwicklungen in der Mobilrobotik, welche zum großen Teil auf probabilistischen Algorithmen basieren [9], ermöglichen, dass die Navigation ohne Infrastruktur stattfinden kann und Roboter und Menschen sich in den gleichen Bereichen sicher aufhalten und bewegen können [5] [8]. Dabei können FTS in bestehende IT-Strukturen integriert und mit anderen Fahrzeugen vernetzt werden, wodurch sich die Intralogistik-Abläufe weiter optimieren lassen [2]. Diese Merkmale sind wichtige Voraussetzungen, um beispielsweise Kommissionierungsabläufe flexibel und agil zu gestalten [10] [11] [5].

Warenkommissionierung

Als Kommissionierung bezeichnet man das Zusammenstellen von bestimmten Teilmengen (Artikeln) aus einer bereitgestellten Gesamtmenge (Sortiment) aufgrund von Aufträgen. Kommissionierung als Teilgebiet der Logistik ist grundsätzlich eine nicht wertschöpfende Tätigkeit und es wird deswegen versucht, diese Abläufe möglichst zu minimieren [5]. Ein neuer Trend bei der Kommissionierung ist die Kombination von autonomen Transportrobotern mit Greifrobotern, was neben dem Transport von Waren auch das Be- und Entladen ermöglicht [8].

Im Bereich des intelligenten Greifens sind zahlreiche Vorarbeiten unter dem Begriff »Griff in die Kiste« (GidK, engl. Bin Picking) vorhanden. Das GidK-Problem ist schon seit fünf Jahrzehnten Gegenstand der Forschung, jedoch bleibt das Problem in seiner allgemeinen Form weiterhin ungelöst. Die Promotionsarbeit von Buchholz bietet einen historischen Überblick der Forschungsansätze zum Bin Picking und stellt drei neuartige Ansätze vor [12]. Weder die historischen noch die neuartigen Ansätze nutzen die Methoden des Maschinellen Lernens (ML), welche in den letzten Jahren mit den Erfolgen des Deep Learnings eine Renaissance erlebt haben [13]. ML-basierte Methoden werden zunehmend auch auf das GidK-Problem angewendet [14].

Forschungsbedarf

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es weiterhin Forschungsbedarf im Bereich der Intralogistik mit fahrerlosen Transportsystemen gibt. Mobile Roboter müssen robust, sicher, verlässlich und selbstständig navigieren können. Objekte müssen unter realen Kommissionierbedingungen erkannt, klassifiziert und von Roboterarmen gegriffen werden, wobei das Maschinelle Lernen einen vielversprechenden Ansatz darstellt. Schließlich müssen die gesamten Logistikabläufe effizient geplant, modelliert und optimiert werden.

3 FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN AM CER I

RoboCup@Work

Um die wissenschaftliche Untersuchung der oben genannten Forschungsfragen zu fördern, wurde 2013 die RoboCup@Work Liga gegründet [15]. Bei diesem internationalen Wettbewerb geht es darum, Roboter zu entwickeln, die autonom Transport- und Handhabungsaufgaben in einer abstrahierten Industrieumgebung durchführen können (siehe Abbildung 1 bis Abbildung 3). Der populäre RoboCup-Wettbewerb mit seinen inzwischen fünf Hauptligen hat sich seit 1997 als eine Plattform bewährt, um den Stand der Technik in Robotik und Künstlicher Intelligenz an Schulen und Hochschulen voranzutreiben und der breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.



Abbildung 1: Teil der FHWS-RoboCup@Work-Arena, die eine abstrahierte Industrieumgebung darstellt. Der Roboter muss autonom navigieren, statische und bewegte Objekte erkennen sowie greifen, an andere Orte transportieren und wieder ablegen.



Abbildung 2: Der Roboter führt eine Greifoperation durch. Dazu muss zunächst das Bauteil erkannt, klassifiziert und lokalisiert werden.



Abbildung 3: Mit einer Tiefenkamera werden Punktwolken von den zu greifenden Bauteilen generiert.

Anfang des Jahres 2020 wurde ein RoboCup@Work-Team an der FHWS gegründet, um die strategischen Interessen der FHWS im Bereich der Forschung, Lehre und des Ideen-, Wissens- und Technologietransfers zu verfolgen. Erste Ergebnisse innerhalb dieser drei Kategorien werden in der folgenden Tabelle präsentiert.

Tabelle 1: Durch den RoboCup@Work erzielte Ergebnisse in den Kategorien Forschung, Lehre sowie Transfer (im Sinne von Ideen-, Wissens- und Technologietransfer [2]).

Ergebnis	Forschung	Lehre	Transfer
Etablierung einer industrietauglichen Experimentierumgebung zum Ausbau des Forschungsschwerpunktes Digitale Intelligente Systeme. In dieser Umgebung werden derzeit mehrere Forschungsfragen im Bereich FTS/Intralogistik durch Masteranden und wissenschaftliche Mitarbeitende bearbeitet	x	x	
Etablierung eines Kooperationsprojekts mit der regionalen Wirtschaft im Anwendungsgebiet Warenkommissionierung – siehe nächster Abschnitt	x	x	x
Pilotprojekt mit einem Medizintechnikhersteller zum Transport von Montagestationen innerhalb der Produktion	x	x	x
Vergabe von mehreren Masterprojekten, welche die Teilgebiete Navigation, intelligentes Greifen und Task-Planung in einer dreisemestrigen wissenschaftlichen Forschungsarbeit bearbeiten	x	x	
Abschluss von mehreren hochschulinternen Bachelorarbeiten und Studierendenprojekten, welche technische Teilaspekte des RoboCups behandeln		x	
Einbindung der Testumgebung und der entwickelten Hard- und Softwareinfrastruktur in die Lehr- und Laborveranstaltungen des seit dem WS 2020/21 neu gestarteten Studiengang »B.Eng. Robotik/Robotics«		x	
Presseartikel [16] sowie ein professioneller Webauftritt mit Videopräsentation [17]			x
Unterstützung durch die Hans-Wilhelm-Renkhoﬀ-Stiftung beim Aufbau des RoboCup-Teams			x
Teilnahme am ersten virtuell durchgeführten RoboCup im Juni 2021			x
Sponsoring durch regionale Unternehmen zur Unterstützung zukünftiger RoboCup-Teilnahmen			x

Griff ins Regal mit Kommissionierroboter

Basierend auf den RoboCup@Work-Aktivitäten begann Anfang 2021 ein Kooperationsprojekt zwischen Linde Material Handling (LMH) und der FHWS. LMH ist Marktführer in Europa für Flurförderzeuge und Nummer zwei in der Welt. Für seine Kunden entwickelt LMH hochleistungsfähige Lösungen für die Intralogistik. Die Grundlage dafür sind Elektro- und Dieselstapler, Lagertechnikgeräte, Hubwagen, Software für das Flottenmanagement, Automatisierungslösungen und Fahrassistenzsysteme.

Ziel des Kooperationsprojekts ist die Entwicklung eines mobilen Pick-Roboters zur vollautomatisierten Kommissionierung diverser Warentypen. Der Roboter soll sich eigenständig im Lager bewegen, die benötigten Waren von Quellpaletten im Regal entnehmen und sicher auf der Zielpalette platzieren (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Die Innovation des Vorhabens besteht darin, mehrere technisch komplexe Einzelaufgaben zu lösen und in ein funktionierendes Komplettsystem mit anspruchsvollen technischen Spezifikationen zu integrieren.



Abbildung 4: Konzept eines mobilen Kommissionierroboters für den »Griff ins Regal«

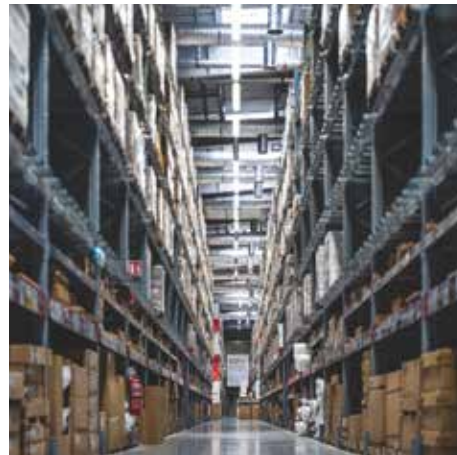


Abbildung 5: Regale, Paletten und Pakete in einem Warenlager

Die Forschungsarbeiten am CERI fokussieren hierbei die Umgebungswahrnehmung und -interpretation, um Regalstrukturen, Ladungsträger und andere Objekte zu erkennen und zu lokalisieren. Dabei werden Informationen von komplementären Sensortechnologien fusioniert und mit Hilfe moderner Methoden des Maschinellen Sehens und Lernens verarbeitet. Es ist geplant, die Forschungsarbeit im Rahmen von zwei kooperativen Promotionen zu bearbeiten.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Anhand eines konkreten Beispiels aus der Robotik wurde in diesem Artikel aufgezeigt, wie die Kombination von Lehre, Forschung und Transfer an einer Hochschule für angewandte Wissenschaften funktionieren kann. Der RoboCup@Work-Wettbewerb eignet sich sowohl zur Ausbildung von forschungs- und entwicklungsaffinen Studierenden als auch zum Einstieg in die Forschung mit Industriepartnern. Dies wurde anhand des gerade gestarteten Vorhabens zur Entwicklung eines Kommissionierroboters mit Linde Material Handling (LMH) illustriert.

Die beschriebenen Projekte stehen erst am Anfang ihres Lebenszyklus. Ergebnisse aus dem RoboCup@Work werden in das LMH-Projekt sowie andere Forschungsprojekte einfließen und umgekehrt. Die Arbeitsergebnisse aus der Forschung werden in der Lehre verwertet, insbesondere in den Vertiefungsrichtungen »Industrielle Robotik« und »Mobile Robotik« des neuen Studiengangs B.Eng. Robotik / Robotics. Technologietransfer in die Industrie und Wissenstransfer in die Öffentlichkeit werden durch diese Aktivitäten ebenso vorangetrieben.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Hochschule Bayern, <https://www.hochschule-bayern.de/>
- [2] Bundesministerium für Bildung und Forschung, <https://www.bmbf.de/de/pakt-fuer-forschung-und-innovation-546.html>
- [3] HAW Würzburg-Schweinfurt, <http://idee.fhws.de>
- [4] Matthias, B.; Ding, H. (2013), »Die Zukunft der Mensch-Roboter-Kollaboration in der industriellen Montage,« Internationales Forum Mechatronics (ifm)
- [5] Müller, R.; Franke, J.; Henrich, D.; Kühlenkötter, B.; Raatz, A.; Verl, A. (2019), »Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration«, Carl Hanser Verlag, München
- [6] Riedelbauch, D.; Heinrich, D. (2019), »Koordination hybrider Mensch-Roboter-Teams«, Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration, Carl Hanser Verlag, S. 260–272.
- [7] Scholz, M. (2019), »Anwendungsbeispiel: Intralogistik«, Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration, Carl Hanser Verlag, München, S. 399–404
- [8] Robotik und Produktion (2019), »Themenheft: Mobile Robotik und smarte Intralogistik«, Robotik und Produktion
- [9] Thrun, S.; Burgard, W.; Fox, D. (2005) »Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)«, MIT Press, Cambridge
- [10] Institut für Innovation und Technik (iit) (2019), »PAiCE – Digitale Technologien für die Wirtschaft«, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin
- [11] Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2017), https://www.ifl.kit.edu/robotik_und_interaktive_systeme_qbiik.php
- [12] Buchholz, D. (2016), »Bin-Picking: New Approaches for a Classical Problem«, Springer, Berlin
- [13] Fraunhofer Gesellschaft (2018), »Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf«, Fraunhofer, verfügbar in: https://www.bigdata-ai.fraunhofer.de/content/dam/bigdata/de/documents/Publikationen/Fraunhofer_Studie_ML_201809.pdf

- [14] [Alonso, M.; Izaguirre, A.; Grana, M.](#) (2019), »Current Research Trends in Robot Grasping and Bin Picking«, International Joint Conference SOCO'18-CISIS'18-ICEUTE'18
- [15] [CT – Magazin für Computertechnik](#) (2017), »Meisterschaft der Maschinen: RoboCup@Work,« verfügbar in: <https://www.heise.de/ct/artikel/Meisterschaft-der-Maschinen-RoboCup-Work-3746064.html>
- [16] [HAW Würzburg-Schweinfurt](#), <https://fokusorange.fhws.de/forschen-verstehen/fhws-goes-robocup/>
- [17] [HAW Würzburg-Schweinfurt](#), <https://robotik.fhws.de/fhws-robotik/forschung/projekte/robocupatwork/>