

# Making Better Robots – Beiträge Österreichs zur Europäischen Robotics Research Roadmap

M. Hofbaur, A. Müller, J. Piater, B. Rinner, G. Steinbauer, M. Vincze, C. Wögerer

Mit dem Programm Horizon 2020 verfügt die Europäische Kommission über das größte zivile Forschungsprogramm der Welt. Robotik und die eng verbundene Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) bilden einen Schwerpunkt des Programms. Das, für die gesellschaftliche und ökonomische Entwicklung Europas wichtige, Thema Robotik optimal in diesem Programm zu repräsentieren, ist Aufgabe des Public-Private Partnership euRobotics. Diese Organisation bildet die Schnittstelle zwischen der Europäischen Kommission und den Forschern, der Industrie und den Nutzern der Robotik. Um das Marktpotential der Robotik zu heben und die damit verbundenen zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsfragen zu identifizieren, wurde eine Strategic Research Agenda für Robotik in Europa für die Jahre 2014–2020 entwickelt. In diesem Artikel werden Forschungsinstitutionen und Projekte in Österreich vorgestellt, die bereits an der Umsetzung dieser Roadmap arbeiten. Weiters wird aufgezeigt, wo Österreich noch Bedarf an Forschung und Entwicklung hat. Diese Bestandsaufnahme wird in die Entwicklung einer österreichischen Robotics Research Roadmap einfließen. Diese Roadmap wird von der Arbeitsgruppe Robotik der Gesellschaft für Mess-, Automatisierungs- und Robotertechnik (GMAR) entwickelt werden und sowohl Forschern und der Industrie als auch der öffentlichen Hand als Leitfaden dienen, um das Potential der Robotik in Österreich zu stimulieren und auszubauen.

Schlüsselwörter: Robotik; Forschung; Horizon 2020; Projekte; Potential

## **Making Better Robots—Austria's contribution to the European Robotics Research Roadmap.**

*With the program Horizon 2020 the European commission has the largest civilian research program worldwide. Robotics and the closely related field information and communication technology (ICT) form core areas of the program. The optimal representation of this topic is immensely important for the social and economic development in Europe within the program is the mission of the public-private partnership euRobotics. This organization acts as an interface between the European commission, researcher, industry and end-user in the area of robotics. In order to lift the market potential of robotics and to identify the related research and development questions a Robotics Strategic Research Agenda for Europe for the year 2014–2020 was developed. In this article we present Austrian research institutions and projects that already work on the realization of that roadmap. Moreover, we will pinpoint areas where Austria has a need for research and development. This assessment will be integrated in the development of an Austrian Robotics Research Roadmap. This roadmap will be developed by the robotics working group within society for measurement, automation and robot technology (GMAR) and should serve research, industry and public stakeholder as a guideline to stimulate and extend the potential of robotics in Austria.*

*Keywords: robotics; research; Horizon 2020; projects; potential*

© Springer Verlag Wien 2015

## 1. Einleitung

Robotik und die eng verbundene Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) wurden von der Europäischen Kommission als zentrale Zukunftsthemen identifiziert, die dabei helfen können, die zukünftigen ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu lösen. Hinsichtlich der ökonomischen Herausforderungen, wie zum Beispiel der globalen Konkurrenzfähigkeit europäischer Produkte und Services kann Robotik in drei Bereichen wichtige Impulse liefern. Erstens kann der Einsatz von Robotik-Technologie die Konkurrenzfähigkeit der europäischen Industrie durch einen erhöhten Automatisierungsgrad und die Möglichkeit der Produktion von innovativen und individualisierten Produkten verbessern. Hier ist ein Ziel zur Sicherung des Wohlstandes eine Reindustrialisierung Europas. Wobei hier nicht nur auf große Player der Industrie abgezielt wird. Speziell ein vermehrter Einsatz von Robotik in Klein- und Mittelbetrieben kann die ökonomische Stärke Europas mas-

siv verbessern. Neben der Industrialisierung kann die Robotik selbst als Markt zur Lösung ökonomischer Probleme fungieren. Die Entwicklung und der Verkauf innovativer Robotik-Komponenten, ganzer Robotik-Systeme und der relevanten bzw. damit einhergehenden

---

**Hofbaur, Michael**, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Robotik und Mechatronik, Lakeside Park B08a, 9020 Klagenfurt am Wörthersee, Österreich; **Müller, Andreas**, Institut für Robotik, Johannes Kepler Universität Linz, Altenbergerstraße 69, 4040 Linz, Österreich; **Piater, Justus**, Institut für Informatik, Universität Innsbruck, Technikerstraße 21A, 6020 Innsbruck, Österreich; **Rinner, Bernhard**, Institut für Vernetzte und Eingebettete Systeme, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Lakeside Park B02, 9020 Klagenfurt am Wörthersee, Österreich; **Steinbauer, Gerald**, Institut für Softwaretechnologie, Technische Universität Graz, Inffeldgasse 16b/2, 8010 Graz, Österreich (E-Mail: [steinbauer@ist.tugraz.at](mailto:steinbauer@ist.tugraz.at)); **Vincze, Markus**, Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 25-25a/E376, 1040 Wien, Österreich; **Wögerer, Christian**, Profactor GmbH, Im Stadtgut A2, 4407 Steyr-Gleink, Österreich

Tab. 1. Dimensionen der Strategic Research Agenda

Dimension	Subdimension	Kategorien
Market Domains		Fertigung, Healthcare, Landwirtschaft, Logistik, Civil Robots, Consumer Robots, Commercial Robots, Militär
Robot Categories	Umgebung Interaktion Format	Luft, Land, Wasser, Unterwasser, Innenbereich, Außenbereich Vorprogrammiert, teleoperiert, überwacht, kooperativ, autonom Manipulatoren, mobile Plattform, Humanoide
Robot Abilities		Konfiguration, Adaption, Interaktion, Zuverlässigkeit, Bewegung, Manipulation, Wahrnehmung, Autonomie, Kognition
Value Chains		Technologietransfer, Fertigung von Komponenten und Systemen, Service, Integration

Services soll als globaler Markt aufgebaut werden, der von europäischen Playern bedient wird. Drittens kann Robotik, ähnlich wie das Internet oder Smartphone, neue Produkttypen und Märkte schaffen. Wobei hier nicht nur auf komplett neue Ideen gesetzt wird, sondern auch bestehende Anwendungsbereiche, in denen Robotik bisher nur eingeschränkt oder gar nicht angewandt wird, wie zum Beispiel die Landwirtschaft, positive Impulse bekommen.

Auf Basis dieses Potentials von Robotik und IKT wurden diese entsprechend im Förderungsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Kommission verankert. Mit dem Programm Horizon 2020 verfügt die Europäische Kommission über das größte zivile Forschungsprogramm der Welt. Robotik und die eng verbundene Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) bilden einen Schwerpunkt des Programms. Das für die gesellschaftliche und ökonomische Entwicklung Europas wichtige Thema Robotik optimal in diesem Programm zu repräsentieren, ist Aufgabe des Public-Private Partnership euRobotics. Neben der euRobotics beschäftigt sich die Public-private Partnership Factory of the Future vor allem mit dem Thema Robotik in der Fertigung. Diese Organisation bildet die Schnittstelle zwischen der Europäischen Kommission und den Forschern, der Industrie und den Nutzern der Robotik. Um das Marktpotential der Robotik zu heben und die damit verbundenen zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsfragen zu identifizieren, wurde eine Strategic Research Agenda (SRA) für Robotik in Europa für die Jahre 2014–2020 entwickelt. In diesem Artikel werden Forschungsinstitutionen und Projekte in Österreich vorgestellt, die bereits an der Umsetzung dieser Roadmap arbeiten. Des Weiteren wird aufgezeigt, wo Österreich noch Bedarf an Forschung und Entwicklung hat. Diese Bestandsaufnahme wird in die Entwicklung einer österreichischen Robotics Research Roadmap einfließen. Diese Roadmap wird von der Arbeitsgruppe Robotik der Gesellschaft für Mess-, Automatisierungs- und Robotertechnik (GMAR) entwickelt werden und sowohl Forschern und der Industrie als auch der Öffentlichen Hand als Leitfaden dienen, um das Potential der Robotik in Österreich zu stimulieren, auszubauen und schlussendlich nachhaltig zu nutzen.

Um diese Aktivitäten auf europäischer Ebene national besser zu spiegeln und anzudocken, haben sich österreichische Vertreter der Forschung und der Industrie zusammengefunden und die Arbeitsgruppe Robotik unter dem Dach der neu gegründeten österreichischen Gesellschaft für Mess-, Automatisierungs- und Robotertechnik (GMAR) gegründet. Die Installation der Arbeitsgruppe im Schnittbereich der drei thematisch stark verbundenen Gebiete erlaubt es, die Robotik zentral zu repräsentieren und Synergien zu den anderen Feldern zu nutzen. Die GMAR-Arbeitsgruppe Robotik sieht sich als neutrale Repräsentation der Forschung und Industrie im Bereich Robotik und soll als Schnittstelle sowohl zu den Organisationen auf europäischer Ebene als auch zu Organisationen auf nationaler Ebene, der Öffentlichen Hand und Endnutzern bilden. In einem ersten Schritt wird diese Arbeitsgruppe die SRA auf nationaler Ebene

formulieren und nationalen Unternehmen, Institutionen und Fördergebern als Leitfaden zur Verfügung stellen.

Die SRA ist entlang folgender vier zentraler Dimensionen aufgebaut: (1) Market Domains, (2) Value Chains, (3) Robot Categories und (4) Robot Abilities. „Market Domains“ kategorisieren mögliche Märkte für die Anwendung von Robotik und die dahinterstehenden Geschäftsmodelle. Die möglichen Anwendungen reichen hierbei von der Fertigung über Healthcare bis zu Consumer Robots. „Value Chains“ geben an, wie Wertschöpfung in einem Markt generiert wird. Hier reicht die Bandbreite vom Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie über die Produktion von Robotern und Robotik-Komponenten bis zu der Zur-Verfügung-Stellung von speziellen Services. „Robot Categories“ geben Aufschluss über die Form, die Umgebung, die Funktion und Arbeitsweise von Robotern. Die Arbeitsweise reicht von vorprogrammiert oder teleoperiert bis zu kooperativ oder autonom. „Robot Abilities“ beschreiben Fähigkeiten, die Roboter haben müssen, um Aufgaben in gegebenen Umgebungen umsetzen zu können. Diese reichen von der Wahrnehmung über die Bewegungsplanung bis hin zu kognitiven Fähigkeiten. Details zu allen Dimensionen sind Tab. 1 und der SRA [1] zu entnehmen.

Im folgenden Beitrag werden die zentralen Institutionen Österreichs, die sich mit Forschung im Bereich Robotik beschäftigen, allgemein vorgestellt und anhand der Dimensionen der SRA eingehender dargestellt. Eine Präsentation exemplarischer Forschungsprojekte der Forschungsinstitute rundet diese Darstellung der österreichischen Forschungsaktivitäten ab. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf die mögliche Beteiligung österreichischer Institutionen bei der Umsetzung der SRA.

## 2. Die Robotik-Forschungslandschaft in Österreich

Die österreichische Robotik-Forschungslandschaft zeichnet sich durch eine große Bandbreite der Forschungsinstitutionen und Forschungsthemen aus. Anhand der drei Dimensionen Forschungsthemen, Technologie-Reifegrad (Technology Readiness Level—TRL) und Beteiligung an nationalen und internationalen Forschungsprojekten sieht man, dass die österreichische Robotik-Forschung zwar kleinteilig, aber generell stark aufgestellt ist. Die behandelten Themen reichen von der Bewegungssteuerung von Manipulatoren und mobilen Systemen über die Wahrnehmung und das Verstehen von Umgebungen und der Interaktion zwischen Mensch und Maschine bis zu Themen der Künstlichen Intelligenz. Beim TRL werden aufgrund der verschiedenen Interessen der beteiligten Institution – diese reichen von Grundlagen-orientierter Forschung bis zur Entwicklung marktreifer Prototypen – viele Stufen abgebildet. Wobei bei der langfristigen und sehr grundlegenden Forschung sowie beim Übergang zu Produkten, Stichwort „Spin-offs“ und Entrepreneurship, noch erheblicher Bedarf besteht.

### 2.1 Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH

Die Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH (JR) ist eine unternehmerisch orientierte Innovations- und Technologieanbieterin, die, eingebunden in ein internationales Netzwerk, seit mehr als dreißig Jahren Spitzenforschung auf internationalem Niveau betreibt. Mit dem Fokus auf angewandte Forschung und Technologieentwicklung nimmt sie als „Innovation Company“ an den Standorten Steiermark und Kärnten eine Schlüsselfunktion im Technologie- und Wissenstransfer ein. Der Stellenwert von Robotik in seinen vielfältigen Ausprägungsformen für das Wirtschafts- und Alltagsleben spiegelt sich auch in den Aktivitäten von JR wider und wurde insbesondere 2014 durch die Gründung des Institutes ROBOTICS entsprechend zentral verankert. An der Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH sind aktuell die Institute ROBOTICS, das Institut DIGITAL sowie das Institut MATERIALS als Forschungspartner für Robotik-Anwendungen in Wirtschaft und Industrie tätig. Das Joanneum Research-Institut DIGITAL als führender Kompetenzträger im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) beschäftigt sich zum Beispiel mit Themenstellungen des maschinellen Sehens für industrielle Anwendungen als auch mit dem Bereich Robotik außerhalb von Produktionsbetrieben. Innovative User Interfaces und Forschung zu multimodalen Human/Machine Interfaces runden das Forschungsportfolio von DIGITAL mit Robotik-Bezug ab. Am Institut MATERIALS werden einerseits Roboter als Werkzeug für innovative Bearbeitungsprozesse eingesetzt, andererseits bieten Forschungsarbeiten des Institutes im Bereich der Sensorik, wie zum Beispiel pyroelektrische Sensoren zur Personen- bzw. Objektdetektion, enge Anknüpfungspunkte zur Robotik. Die Schwerpunkte von ROBOTICS umfassen primär Forschungsthemen der Mensch/Roboter-Kollaboration und -Interaktion mit Anwendung in innovativen Produktionsprozessen sowie die Thematik Robot-Safety. Zur Abdeckung dieses Themenspektrums werden Forschungsarbeiten aus der Sensorik und Aktuatorik, der rechnergestützten Datenfusionierung und Perzeption, der Aufgaben- und Bewegungsplanung und Regelungstheorie, der Echtzeit-Datenverarbeitung sowie der Robotik-Mechanismen im Allgemeinen behandelt. Die Themenstellung Robot-Safety beinhaltet einerseits hoch-zuverlässige Systeme, sichere Sensorik und Aktuatorik, aber auch die sicherheitsgerichtete Systementwicklung funktional sicherer Robotiksysteme.

### 2.2 Johannes Kepler Universität Linz

Seit ihrer Gründung 1966 hat sich die Johannes Kepler Universität Linz (JKU) als innovatives Zentrum für Wissenschaft und Gesellschaft etabliert und ist mit ca. 18.000 Studierenden und 1.800 wissenschaftlichen Mitarbeiter die größte Bildungs- und Forschungseinrichtung in Oberösterreich. Am Institut für Robotik (ROBIN) der JKU wird die Robotik als domänenübergreifende Disziplin verstanden, die einen ganzheitlichen Zugang erfordert, wobei der Fokus auf einer ganzheitlichen Modellierung physikalischer Phänomene liegt. Innerhalb des Fachbereichs Mechatronik und mit der engen Verbindung zum Linz Center of Mechatronics (LCM) hat das ROBIN exzellente Voraussetzungen für die disziplinenübergreifende Forschung. Die mechanischen Eigenschaften sind von entscheidender Bedeutung für die dynamischen Charakteristika und die Leistungsfähigkeit eines robotischen Systems. Aus diesem Grund sind der Entwurf und die Regelung moderner Robotersysteme nicht ohne hinreichend genaue Modelle denkbar. Am ROBIN werden mathematische Methoden für die Modellierung komplexer mechanischer Systeme entwickelt, die als Grundlage für die Analyse und Synthese und letztendlich die modellbasierte Regelung dienen. Dabei bedient sich das ROBIN der Methoden aus der Mehrkörperdynamik und der nichtlinearen Steuertheorie und entwickelt bei Bedarf neue Methoden und

Algorithmen. Als Ergebnis stehen hocheffiziente Modelle und modellbasierte Regelkonzepte für komplexe Robotersysteme zur Verfügung, die direkt in praxistaugliche Lösungen münden.

Die Forschungsschwerpunkte des ROBIN sind die Optimalsteuerung (zeit- und energieoptimal) und die Kraft-Positionsregelung von Industrierobotern [5] und flexiblen Leichtbaurobotern [7], die optimale Bahnplanung für mobile Roboter, die modellbasierte Regelung neuartiger Parallelkinematiken [9, 10], die Regelungskonzepte für Spezialanwendungen [6] sowie Humanoide (Laufmaschinen) [8].

### 2.3 Universität Innsbruck

Gegründet im Jahr 1669, ist die Universität Innsbruck heute mit mehr als 28.000 Studierenden und über 4.500 Mitarbeitenden die größte und wichtigste Forschungs- und Bildungseinrichtung in Westösterreich. Robotik-relevante Forschung wird im Wesentlichen in zwei Arbeitsgruppen betrieben. Der Arbeitsbereich Geometrie und CAD ist am Institut für Grundlagen der Technischen Wissenschaften an der Fakultät für Technische Wissenschaften angesiedelt. Die Arbeitsgruppe für Intelligente und Interaktive Systeme ist Bestandteil des Instituts für Informatik an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Physik. Die Universität Innsbruck bearbeitet Themen der Kinematik, Wahrnehmung und des Lernens. Der Arbeitsbereich Geometrie und CAD arbeitet im Bereich Computational Kinematics. Es werden verschiedenste Roboterstrukturen, wie z. B. parallele Manipulatoren, auf ihre kinematischen Eigenschaften mit Methoden der algebraischen Geometrie, der Differential- und mehrdimensionalen Geometrie untersucht. Untersucht werden z. B. direkte und inverse Kinematik, Bauformen, Singularitäten, Arbeitsräume und Operationsmodi. Wesentliches Forschungsziel ist die globale Beschreibung der Bewegungsmöglichkeiten der Manipulatoren. Die Arbeitsgruppe für Intelligente und Interaktive Systeme befasst sich mit Wahrnehmung und Lernfähigkeiten für autonome Roboter und andere interaktive Systeme. Das Ziel der Forschung ist es, Roboter lernfähig zu machen, damit sie Verständnis für ihre Umgebung entwickeln können, das es ihnen ermöglicht, mit ihr zweckgerichtet zu interagieren.

### 2.4 Alpen-Adria-Universität Klagenfurt

Mit über 10.000 Studierenden ist die Alpen-Adria-Universität Klagenfurt die führende akademische Bildungsinstitution in Kärnten und Drehscheibe für Wissenserwerb, Wissensaustausch und Wissenstransfer in der gesamten Alpen-Adria-Region. Die Fakultät für Technische Wissenschaften an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt wurde im Jahr 2007 gegründet, ist seither stark gewachsen und gliedert sich aktuell in neun Institute aus den Bereichen Mathematik, Informatik, Informationstechnik sowie Didaktik. Das Studienangebot der Fakultät umfasst Technische Mathematik, Angewandte Informatik, Informationstechnik und die Unterrichtsfächer Informatik und Mathematik. Gemeinsam mit der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften werden die Studien Informatikmanagement und Informationstechnik: Wirtschaftsingenieur angeboten. An Robotikthemen wird an der Alpen-Adria-Universität im Rahmen des strategischen Schwerpunktes Networked and Autonomous Systems der Fakultät für Technische Wissenschaften geforscht. Insgesamt sieben Forschungsgruppen (Bettstetter, Elmenreich, Friedrich, Hellwagner, Kyamakya, Rinner und Zangl) aus vier Instituten arbeiten in den Bereichen: Sensor- und Aktortechnik, Vernetzung, Koordination und Selbstorganisation von Multi-Robot-Systemen sowie Modellierung, Planung und Optimierung mit den Anwendungsfeldern Automotive, Transportation, Rescue und Multimedia.

## 2.5 Technische Universität Graz

Die Technische Universität Graz (TU Graz) verfügt über rund 14.000 Studierende und 2.400 Mitarbeiter/innen und bietet mit sieben Fakultäten technische und naturwissenschaftliche Lehre und Forschung in einer großen Bandbreite. Robotik als interdisziplinäres Feld ist an der TU Graz in der Lehre durch eine Vielzahl von Instituten aus den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik repräsentiert. In der Forschung wird die Robotik primär von den Instituten für Grundlagen der Informationsverarbeitung, Maschinelles Sehen und Darstellen und Softwaretechnologie vertreten. Die Bandbreite der Robotik-Forschung an der TU Graz reicht von reiner Grundlagen-orientierten Forschung bis hin zur angewandten Forschung. Das Institut für Grundlagen der Informationsverarbeitung forscht an grundlegenden Fragestellungen der Informationsverarbeitung in biologischen neuronalen Systemen, neuronalen Netzwerken, der Komplexitätstheorie und dem Maschinellen Lernen. Speziell das Lernen von natürlichen Bewegungsmustern ist hier für die Robotik interessant. Das Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen ist die einzige österreichische Forschungseinrichtung, die sowohl die Computer-Grafik als auch die Computer-Vision unter einem Dach vertritt. Der Bereich Visual Computing wird in voller Breite in Lehre und Forschung vom Institut vertreten. Das Institut beheimatet vier Professoren und hat ca. 80 Mitarbeiter/innen, wovon der Großteil über Drittmittel finanziert wird. Die Forschungsschwerpunkte des Institutes sind unter anderem Mobile Computer Vision, Augmented Reality, Object Detection and Recognition, Robot Vision, Aerial Vision, 3D Reconstruction, Visual Learning, Convex Optimization, Medical Visual Computing, Visualization. Speziell die Aerial Vision Group des Institutes beschäftigt sich mit Fragestellungen aus der Robotik und der Computer Vision. Das Institut für Softwaretechnologie befasst sich mit theoretischen, praktischen und angewandten Aspekten der Softwaretechnologie. Forschungsgebiete liegen im Bereich intelligenter Systeme, formale Verifikation und systematisches Testen von Software, Künstliche Intelligenz, Wissensrepräsentation, Requirements Engineering, Recommender Systeme, Optimierung von industriellen Problemen, Spieltheorie, Kombinatorik und Komplexitätstheorie, Algorithmen und Rechnerischer Geometrie. Das Institut beherbergt die Arbeitsgruppe Autonome Intelligente Systeme, die sich mit der Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz, insbesondere der Self-Awareness und der Entscheidungsfindung in autonomen Robotern, beschäftigt. Das Institut beheimatet drei Professoren und ca. 30 Mitarbeiter/innen.

## 2.6 Technische Universität Wien

An der Technischen Universität Wien (TU Wien) wird seit 200 Jahren im Dienste des Fortschritts geforscht, gelehrt und gelernt. Die TU Wien zählt zu den erfolgreichsten Technischen Universitäten in Europa und ist mit über 28.000 Studierenden und rund 3.300 Wissenschaftler/innen Österreichs größte naturwissenschaftlich-technische Forschungs- und Bildungseinrichtung. Das Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN) gehört der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Wien an. Das Institut betreibt Grundlagenforschung auf den Gebieten der industriellen Automatisierungstechnik, der kognitiven Robotik sowie der Modellierung, Optimierung, Steuerung und Regelung komplexer dynamischer Systeme und ist bestrebt, im Rahmen von Industriekooperationen die neuesten Erkenntnisse und Methoden auf den jeweiligen Gebieten zur Lösung konkreter praktischer Problemstellungen anzuwenden.

Die TU Wien ist Forschungspartner für namhafte internationale und nationale Unternehmen sowohl im Rahmen von Forschungs-kooperationen als auch in beratender Funktion. Einer der Schwer-

punkte der Forschung am Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik liegt im Bereich Assistenzroboter für Anwendungen im Bereich der Industrie und neuen Service-Einsätzen. Die Arbeitsgruppe „Sehen für Roboter“ unter der Leitung von Markus Vincze liefert Lösungen zum Erfassen von Objekten und Assistenzrobotern für alte Personen. Insbesondere ist das Ziel, Robotern das „Sehen“ beizubringen. Dazu entwickelt das ACIN Methoden zur Wahrnehmung von Strukturen und Objekten, so dass Roboter handeln und daraus lernen können. Eine dreidimensionale Modellierung von Objekten erlaubt die anschließende Erkennung, eine Kategorisierung, das Berechnen von Greifpunkten und die Analyse der Form, um Funktionen von Objekten abzuleiten. Die komplette Erfassung von Objekten ermöglicht die Handhabung und Interaktion in Anwendungen im Service-Bereich als auch in der Industrie. So wird es möglich, die Form von Teilen zu erfassen und je nach den Merkmalen der Form die entsprechenden Bearbeitungsschritte auszuführen. Dies führt zu flexibler Fertigung bis zu Losgröße eins.

## 2.7 Profactor GmbH

Profactor befasst sich seit seinem Bestehen – mittlerweile 20 Jahre – mit Robotik. Die Entwicklungen erfolgen im Forschungsschwerpunkt Industrielle Assistenzsysteme. Im Fokus steht die bestmögliche Kooperation von Mensch und Maschine. Das bedeutet einerseits eine mentale und ergonomische Entlastung des Menschen und gleichzeitig ein Upgrade des menschlichen Arbeitsplatzes in der Produktion. Der Werker, der sich um schwere Teile in einer Kiste bückt, wird damit bald der Vergangenheit angehören. Adaptive Roboter, die mit dem Kollegen Mensch sicher agieren können, sind zudem ein Grundstein für eine hochflexible, individualisierte und dennoch wettbewerbsfähige Produktion. Die Abteilung Robotik und Assistive Systeme umfasst Mitarbeiter/innen aus den Bereichen Mathematik, Informatik, Mechatronik, Physik und Maschinenbau. Die Gruppe hat umfangreiche und mehrjährige Erfahrung in industrieller Bildverarbeitung (2D und 3D), autonomen Robotersystemen, intuitiven Assistenzsystemen und Mensch-Roboter-Interaktion. Der Forschungsfokus von Profactor ist hauptsächlich die Entwicklung und Evaluierung von industriellen (Roboter-)Assistenzsystemen. Die unterschiedlichen Abteilungen fokussieren sich auf verschiedene Themen für Assistenzsysteme, wie z. B. Montageassistenz, Entscheidungsassistenz oder Inspektionsassistenz. Die Assistenzsysteme werden Großteils für industrielle Anwendungen entwickelt, wo sie den Mensch bei gefährlichen, langweiligen oder wiederholenden Tätigkeiten (z. B. Einreichung von Teilen...) unterstützen. Dadurch kann sich der Mensch auf gewinnbringenden Aufgaben (z. B. Montieren von Teilen...) fokussieren. Diese Systeme sind teilautonom und kooperativ in ihrer Zusammenarbeit mit dem Menschen. Basisfähigkeiten wie Bewegungsabläufe (z. B. Greifen, Positionieren) und Erkennen von Komponenten sind fix programmiert. Industrielle Assistenzsysteme werden für viele unterschiedliche Aufgaben eingesetzt, unter anderem für Montage, Oberflächenbearbeitung, Transport, Inspektion, Greifen und Handling von unterschiedlichen Teilen.

## 3. Beiträge Österreichs zur European Robotics Roadmap

Die Beiträge der österreichischen Forschungsinstitute zur Erreichung der Ziele der European Robotics Roadmap sollen anhand der vier zentralen Dimensionen gezeigt werden. Im Folgenden wird gezeigt, welche Forschungsinteressen die einzelnen Institutionen haben. Weiters wird dargelegt, in welchen Anwendungsdomänen diese Forschungen angesiedelt sind, welche Robotertypen bearbeitet werden und welche neuen Fähigkeiten für Roboter aus diesen Forschungen entstehen. Eine Zusammenfassung der Beiträge ist in Tab. 2 zu sehen.

**Tab. 2. Beiträge österreichischer Forschungsinstitutionen zur Erreichung der Ziele der European Roadmap**

Institution	Forschungsfokus	Market Domains	Robot Categories	Robot Abilities
Joanneum Research	Computer Vision, Sensoren, Aktoren, Human-Robot Collaboration, Robot Safety	Fertigung, Commercial Robotics, Logistik	Manipulatoren, mobile Plattformen, Innenbereich, Außenbereich, kooperativ, autonom	Interaktion, Wahrnehmung, Konfiguration, Manipulation, Zuverlässigkeit
Johannes Kepler Universität	Modellierung komplexer Systeme, optimale Steuerung, Regelungstechnik	Fertigung, Healthcare, Logistik	Manipulatoren, mobile Plattformen, Innenbereich, vorprogrammiert	Bewegungssteuerung, Manipulation, Autonomie, Interaktion
Universität Innsbruck	Kinematik, Roboterarchitekturen, 3D Computer Vision, Lernen, Greifen	Fertigung, Consumer Robots	Manipulatoren, Innenbereich, kooperativ	Konfiguration, Bewegungsplanung, Adaption, Manipulation, Wahrnehmung, Interaktion
Universität Klagenfurt	vernetzte und autonome Systeme, Unmanned Aerial Vehicles, Multi-Roboter-Systeme	Landwirtschaft, Civil Robots	Flug- und Bodenroboter, Außenbereich, vorprogrammiert, autonom	Wahrnehmung, Autonomie, Interaktion
Technische Universität Graz	Kamera-basiertes SLAM, Computer Vision, Lernen, neurale Informationsverarbeitung, Reasoning, Planen, Diagnose, Testen, Kontrollarchitekturen	Civil Robots, Commercial Robots, Consumer Robots	Flug- und Bodenroboter, Innenbereich, Außenbereich, teleoperiert, vorprogrammiert, autonom	Konfiguration, Adaption, Wahrnehmung, Autonomie, Kognition, Zuverlässigkeit
Technische Universität Wien	Automatisierung, cognitive Robotics, Computer Vision, Navigation, Manipulation, Human-Robot Interaction	Fertigung, Commercial Robots, Consumer Robots	Manipulatoren, mobile Plattformen, Innenbereich, vorprogrammiert, autonom	Interaktion, Wahrnehmung, Manipulation, Kognition
Profactor	Industrielle Assistenzsysteme, Computer Vision, Human-Robot-Interaktion	Fertigung, Commercial Robots	mobile Manipulatoren, Innenbereich, vorprogrammiert, kooperativ, autonom	Wahrnehmung, Interaktion, Manipulation, Kognition

### 3.1 Market Domains

Als Forschungspartnerin für Wirtschaft und Industrie sind Themstellungen aus der industriellen, aber auch individuellen Fertigung von Gütern mit hoher Wertschöpfung ein wesentliches Anwendungssegment der bei **Joanneum Research** erforschten Robotik-Technologie. Robotik-Systeme an sich und die damit einhergehenden Technologiefelder der Sensorik, Automatisierungs- und Regelungstechnik, der informationstechnischen Einbindung in einem größeren Systemkontext (Stichwort Industrie 4.0 bzw. Industrial Internet) sind hierbei zentrale Schwerpunkte an den beteiligten Instituten. Aktueller Hauptfokus des Institutes für Robotik der **Johannes Kepler Universität** sind Industrieanwendungen mit repetiti-

vem Charakter und Anwendungen in flexiblen Produktionsszenarien. Daneben bilden Anwendungen in den Bereichen Healthcare, Transport und Consumer Products die Triebfeder der Forschung.

Anvisierte Anwendungsgebiete der Forschung der **Universität Innsbruck** erstrecken sich von der Service- und Haushaltsrobotik über flexible Fabrikation bis hin zu wissenschaftlichen Explorationsrobotern – alle Gebiete, die ein gewisses Maß oder vollständige Autonomie des Roboters erfordern, während sie in Umgebungen operieren, die nicht für sie gestaltet wurden. Zivile Anwendungen, wie die Überwachung bzw. Such- und Rettungseinsätze [21], liegen neben Anwendungen in der Landwirtschaft im Interesse der **Alpen-**

**Adria-Universität Klagenfurt.** Daneben sind Mapping und Environmental Monitoring potentielle Anwendungen.

Das ACIN der **Technischen Universität Wien** ist an der Anwendung von Robotern in der automatisierten Fertigung und im Bereich Haushaltsroboter, die das tägliche Leben erleichtern, interessiert. Bildgebende Methoden helfen, die Losgröße bis auf eins zu reduzieren. Und Sehen ermöglicht zukünftigen Robotern zu Hause und in der Fertigung, Teile zu erkennen und handzuhaben. Grundsätzlich versteht sich die **Technische Universität Graz** als Institution, die sich mit grundlegenden Fragestellungen aus dem Bereich beschäftigt und die Wertschöpfungskette mit Wissenstransfer aus der Forschung hin zur Industrie unterstützt. Dieses Verständnis äußert sich auch in der großen Bandbreite der an der TU Graz durchgeführten Forschungsprojekte, die von interessanten grundlegenden Projekten bis hin zu angewandten Projekten mit Industriebeteiligung reichen. Durch die Fokussierung auf grundlegende Fragestellungen aus der Wahrnehmung, dem Lernen und dem Schlussfolgern sind die Forschungsergebnisse prinzipiell für alle Marktsegmente anwendbar. Jedoch ergeben sich stets Marktsegmente, wie zum Beispiel Such- und Rettungsroboter, die detaillierter bearbeitet werden.

Im Fokus von **Profactor** stehen Roboterassistenzsysteme für den industriellen Einsatz wie etwa die Produktion. Das Ziel ist jedoch, dass die Assistenzsysteme nicht nur für eine bestimmte Aufgabe entwickelt werden, sondern dass sie frei konfigurierbar sind und intuitiv an neuen Aufgaben angepasst werden können.

### 3.2 Robot Categories

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten bei **Joanneum Research** ist die Themenstellung der kollaborativen Robotik in innovativen Logistik- und Produktionsprozessen. Zur Anwendung kommen hier überwiegend serielle Manipulatoren, d. h. Leichtbau-Roboter und industrielle Roboter mit dedizierter sicherheitsbezogener Automatisierung für eine gemeinsame Arbeitsdurchführung von Mensch und Roboter in einem gemeinsamen, nicht durch Schutzvorrichtungen physikalisch getrennten Arbeitsraum. Mobile Robotik spielt hierbei als Plattform für flexibel platzierbare Manipulatoren und gegebenenfalls auch als Transportplattform eine wichtige Rolle. Weitere Anwendungen von Sensorik und IKT-Kernkompetenzen, wie z. B. 3D Machine Vision am Institut DIGITAL, ergänzen das Anwendungsportfolio durch Einbindung in internationalen Projekten, wie z. B. die ESA ExoMars Mission.

Das Thema Kollaboration spielt für eine Vielzahl der am Institut für Robotik der **Universität Linz** bearbeiteten Forschungsprojekte eine wichtige Rolle. Konkrete Ausprägungen der Kollaboration sind die kooperative Manipulation von Objekten durch mehrere Roboter als auch die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) mit den damit einhergehenden Sicherheitsaspekten – beides Themen von großer aktueller Relevanz. Zum Einsatz kommen nichtredundante und redundante Industrieroboter mit serieller Kinematik, robotische Manipulatoren mit Parallelkinematik und mobile Plattformen mit zusätzlichem Roboterarm, aber auch maßgeschneiderte Spezialsysteme. Von besonderem Interesse für die **Universität Innsbruck** sind Robotersysteme, die in – für Menschen gemachten – Umgebungen operieren können und Interaktion mit dem Menschen erlauben. Das Interesse der **Alpen-Adria-Universität Klagenfurt** liegt in Teams von Flug- und Bodenrobotern, die neben dem Innenbereich auch im Außenbereich eingesetzt werden können. Hier stehen besonders Mikrodrohnen (Quad- und Octocopter wie beispielsweise AscTec Pelican, AscTec Firefly und Microdrones) im Fokus.

Die grundlagenorientierte Forschung der **Technischen Universität Graz** ist für eine Vielzahl von Roboterarten mit verschiedenen Umgebungen, Formen, Arbeitsweisen und Funktionen anwend-

bar. Selbstverständlich wird jedoch in angewandten Projekten Forschungsarbeit zu spezielleren Anwendungsfällen wie zum Beispiel fliegende Roboter für Dokumentationszwecke geleistet. Die Arbeitsgruppe Aerial Vision beschäftigt sich mit dem Bereich Flugrobotik. Das Institut hat mehrere Flugplattformen (Quadcopter, Octocopter, Fixed-Wing-Flugzeuge), mit denen Forschung im Bereich der Flugrobotik betrieben wird [26]. Aufgrund der Forschungsausrichtung liegen beim ACIN der **Technischen Universität Wien** mobile Plattformen und Roboterarme und deren Kombination im Fokus, die im Innenraum zum Einsatz kommen. Die Arbeitsweise der Roboter erstreckt sich von vorprogrammiert über interaktiv bis zu autonom.

Die bei **Profactor** im Fokus stehenden Assistenzsysteme sind Kombinationen aus mobilen Plattformen und Roboterarmen, die in industriellen Umgebungen eingesetzt werden und entweder vorprogrammiert, kooperativ oder autonom betrieben werden.

### 3.3 Robot Abilities

Mensch/Roboter-Interaktion und eine einfach zu konfigurierende, wenn nicht sogar autonome Aufgabendurchführung durch den Roboter, stellen eine Voraussetzung für kollaborative Robotik und innovative Produktionsprozesse (Stichwort Losgröße 1) dar. Aus diesem Grund arbeiten die Institute ROBOTICS und DIGITAL von **Joanneum Research** an innovativen, multimodalen Human/Machine Interfaces und Roboter-Aufgabenprogrammierung auf Basis innovativer, modellbasierter Methoden für die Automatisierung von Robotern. Auch die physikalische Konfiguration, d. h. die Struktur des Roboters, kann für diese Themenstellungen als variabel angesehen werden und ermöglicht eine auf die Aufgabenstellung zugeschnittene Robotik-Lösung. Am Institut ROBOTICS werden daher grundlagenorientierte Forschungsarbeiten zum Thema rekonfigurierbare Roboter durchgeführt, die es erlauben, Aufgaben- und Domänenspezifische Lösungen mit flexibel gestaltbaren Manipulatoren und mobilen Robotern für Forschungspartner und Anwendungsfelder anzubieten. Das Thema Sensorik spielt hierbei sowohl in der Dimension der Sensor-Technologie an sich als auch in puncto Datenfusion und Perzeption einen wesentlichen Schwerpunkt der Arbeiten an den Instituten MATERIALS und DIGITAL.

Der zunehmende Druck zur Verringerung der Zykluszeiten steht der Tendenz zur energieeffizienten und ressourcenschonenden Produktion gegenüber. Letztere führt zu Industrierobotern und Handhabungsgeräten mit deutlich geringerem Gewicht, aber auch mit deutlich höherer mechanischer Elastizität. Eine Erhöhung der Verfahrensgeschwindigkeiten bei gleichzeitiger Gewichtsreduktion ist daher nur mit modellbasierten Regelungskonzepten möglich. Solche Konzepte werden am ROBIN entwickelt und bis zur Anwendungsreife gebracht. Im Zusammenhang mit der Kollaboration nimmt die Regelung der Interaktionskräfte, mit denen ein Roboter auf seine Umgebung einwirkt, großen Raum ein. Von besonderer Bedeutung ist hierbei eine möglichst niedrige Latenz im Kraftregelkreis. Derartige Konzepte für die Hochgeschwindigkeitskraftregelung sind Gegenstand aktueller Forschung an der **Johannes Kepler Universität**. Mobile Roboter stellen eine Antwort auf die Notwendigkeit zur Flexibilisierung des Produktionsprozesses dar. Auch wenn die prinzipiellen Steuer- und Regelkonzepte hinreichend bekannt und erprobt sind, sind die Bahnplanung und die robuste Regelung noch immer Gegenstand intensiver Forschung. Am Institut für Robotik werden insbesondere Probleme, die aus der Existenz von Singularitäten herühren, behandelt und entsprechend robuste Regelstrategien entwickelt.

Die **Universität Innsbruck** arbeitet an Methoden der visuellen Wahrnehmung mittels Kameras und Tiefensensoren, um Objekte zu

erkennen und deren Lage zu bestimmen [11]. Maschinelle Lernmethoden ermöglichen dem Roboter, das Greifen und die Manipulation von Objekten zu lernen und zu verbessern, unterstützt durch visuelle und taktile Sensorik [12, 13]. Über die unmittelbare Interaktion hinaus werden Lernmethoden entwickelt, die dem Roboter das Verständnis zunehmend komplexer Fertigkeiten, Konzepte und Zusammenhänge ermöglicht [14, 15].

Forschungsarbeiten der **Alpen-Adria-Universität Klagenfurt**, die zur Verbesserung der Fähigkeiten von Robotern beitragen, umfassen die Entwicklung von Konzepten und Software für Multi-Robotersysteme [16], adaptiven Datentransfer und zuverlässige Netzwerke [17, 24], Planung, Koordination und Selbstorganisation in Multi-Robotersystemen [18–20] sowie Sensordatenauswertung und Bildverarbeitung [22, 23, 25]. Die konkreten Forschungsschwerpunkte liegen in der experimentellen Untersuchung von Architekturen und Protokollen (802.11a, n, ac) für zuverlässige Kommunikation, im Entwurf und der Analyse von zentralisierten und verteilten Algorithmen zur Planung und Koordination von Drohnen sowie in der adaptiven Übertragung von multimedialen Daten und der Software-Integration unter dem Robot Operating System ROS.

Die Dimension der Roboterfähigkeiten ist jedoch für die **Technische Universität Graz** besonders interessant, da alle beteiligten Institute daran arbeiten, die Fähigkeiten der Roboter zu verbessern. Insbesondere die Themen Konfigurierbarkeit und Adaptabilität sowie die Wahrnehmung als auch die Zuverlässigkeit und Kognition werden bearbeitet. Der Fokus des Institutes für Maschinelles Sehen und Darstellen liegt auf der Wahrnehmungsfähigkeit und dabei auf visueller Sensorik und hier im Speziellen durch Kameras und 3D-Sensorik (Time of Flight, Structured Light etc.). Die Forschung konzentriert sich auf den Bereich der 3D-Rekonstruktion [26, 27] aus Bildern sowie Objektdetektion und -erkennung [28], aber auch Bereiche wie autonomes Lokalisieren und Navigieren (z. B. SLAM) [29] werden abgedeckt. Digitale Bildsensoren und Algorithmen der Computer Vision finden fundamentale Anwendungen in der Robotik. Die Flexibilität und Robustheit autonomer Systeme und insbesondere deren Entscheidungsfindung und Aktionsausführung stehen im Fokus des Institutes für Softwaretechnologie. Um Flexibilität und Autonomie von Roboter-Systeme zu ermöglichen, beschäftigt sich das Institut mit deklarativer Programmierung, Planen, Wissensrepräsentation und automatischem Schließen [30, 31]. Um die Robustheit autonomer Systeme zu erhöhen, forscht das Institut an Methoden, die sowohl während der Designphase als auch in der Implementationsphase sowie auch zur Laufzeit eingesetzt werden können. Dazu zählt Requirement Engineering, systematisches Testen sowie automatische Diagnose und Reparatur. Testen, Diagnose und Reparatur erfolgt auf den Ebenen der Hardware, Software [32], Entscheidungsfindung [33] und dem gesamten Robotersystem [34].

Die **Technische Universität Wien** entwickelt Methoden zur Wahrnehmung von Strukturen und Objekten, so dass Roboter handeln und daraus lernen können. Die Lösungen entwickeln den Ansatz des situierten Sehens: Wahrnehmung wird an das Wissen von der Aufgabe, der Domäne und des Roboters gebunden (siehe auch Beitrag in 4.6). Die Kompetenz des Institutes ist die sichere Navigation, 2D- und 3D- Aufmerksamkeitsmethoden sowie eine komplette Erfassung von Objekten für Aufgaben mit Robotern. So können Objekte von allen Seiten modelliert und ein vollständiges Objektmodell erstellt werden. Dieses Modell dient dazu, spezifische Objekte zu erkennen. Dies kann erweitert werden auf das Lernen von Modellen aus dem Web, um Objektklassen zu erkennen. Alle diese Modelle liefern den Ausgangspunkt für Affordanz-basiertes Greifen – also eine autonome Erkennung von möglichen Greifpunkten, die auch verschiedene Arten einer Nutzung von Objektfunktionen für die Manipulation einschließt.

Für **Profactor** sollen Assistenzsysteme generell für verschiedenen Aufgaben eingesetzt werden können. Zusätzlich sollten diese adaptiv sein in Bezug auf Änderungen ihrer Arbeitsumgebung. Assistenzsysteme arbeiten mit Menschen in dynamischen Umgebungen zusammen, wo z. B. Gegenstände nicht fix positioniert sind. Intuitive Interaktion zwischen Mensch und Roboter muss realisiert werden, weil sonst die Akzeptanz solcher Systeme nicht gewährleistet werden kann. Optimale Interaktionsmodalitäten wurden bereits in mehreren Forschungsprojekten bei Profactor entwickelt. Um richtig und sicher mit Menschen zu interagieren, muss ein Assistenzsystem die Fähigkeit haben, um seine Umgebungen wahrzunehmen. Profactor hat jahrelange Erfahrung im Bereich industrielle 3D-Bildverarbeitung (3D-Objekterkennung und -Rekonstruktion) und ermöglicht damit Systemen, ihre Umgebungen zu interpretieren. Assistenzsysteme müssen nicht nur die Umgebung interpretieren, sondern auch die Aktivitäten von den kooperierenden Menschen, um intuitive Zusammenarbeit zu garantieren. Dies beinhaltet unter anderem, dass der Roboter entscheidet welche Aktionen gemacht werden, um die Interaktion mit dem Menschen zu realisieren. Der Roboter braucht dazu kognitive Fähigkeiten.

#### 4. Robotik-Forschungsprojekte in Österreich

Die österreichischen Forschungsinstitutionen sind an einer Vielzahl von Forschungsprojekten im Bereich Robotik beteiligt. Die Bandbreite der Projekte reichen von rein grundlagenorientierter Forschung über angewandte Forschung bis hin zu Arbeiten, die bereits nahe am Produkt sind. Die Projekte sind lokal, national oder international ausgerichtet und werden von lokalen Institutionen, nationalen Fördergebern wie dem FWF und der FFG, lokal und national von Industriepartnern oder der Europäischen Kommission gefördert. Im Anschluss finden sie eine Aufstellung von Projekten die, die Bandbreite und Qualität der österreichischen Robotikforschung dokumentiert.

##### 4.1 Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH

Eine direkte Roboter-Mensch-Interaktion eröffnet viele über die traditionelle Anwendung von Robotern hinausgehende Möglichkeiten, da einerseits die kognitive Fähigkeit des Menschen als auch andererseits die Stärken der Robotertechnologie in puncto Präzision, Leistungsfähigkeit etc. synergetisch genutzt werden können. Es wird erwartet, dass dieser aus der Servicerobotik-Forschung bekannte Ansatz in naher Zukunft auch für klassische Handhabungsroboter drastisch an Bedeutung gewinnen wird. Im Forschungsprojekt CollRob wird eine umfassende sensorische Umgebungswahrnehmung des Roboters und eine wechselseitige, sowohl für Mensch als auch Roboter verständliche Interaktion in der Aufgabenplanung und Durchführung erforscht. Die Thematik Sicherheit, insbesondere auch die funktionale Sicherheit des Systems aus Sensorik und Datenverarbeitung, spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Als zentrale Aspekte einer Mensch-Roboter-Kollaboration werden im Projektkontext sowohl regelungstechnische Themen, wie eine inhärent sichere Nachgiebigkeitsregelung des Roboters, als auch die Planung einer kooperativen Handhabungsaufgabe und deren, in der Roboter-Mensch-Interaktion dynamisch angepassten, Ausführung erforscht.

Im Projekt Stereo Machine Vision für ExoMars entwickeln und liefern die Experten/innen der Forschungsgruppe Bildanalyse und Messsysteme wesentliche Bestandteile für Robotik-Anwendungen, mit einem Schwerpunkt auf 3D-Bildverarbeitung und Rekonstruktion. Die dreidimensionale Rekonstruktion von Landschaften und Objekten mittels Kameras und Laserscannern hat in den letzten Jahren in vielen Anwendungen ihren Einzug gehalten. Die Technologie ist sowohl für die Weltraum-Robotik von Bedeutung, wenn unbemannte Raumsonden und Roboterfahrzeuge die Oberfläche von Planeten

und des Mondes erkunden, als auch in der Kartierung von kommerziell und sicherheitstechnisch relevanten Oberflächen auf der Erde. Die in der Forschungsgruppe entwickelten und integrierten Verfahren sind für diese Anwendungsgebiete gleichermaßen geeignet. Mittels Stereo-Rekonstruktion von Bildern des 2018 geplanten ExoMars Rovers der europäischen Weltraumagentur ESA soll die Suche nach Leben auf unserem Nachbarplaneten unterstützt werden, zu dem dienen am Institut entwickelte Navigationsmechanismen dazu, die Planung der täglichen Rover-Trajektorie zu unterstützen.

#### 4.2 Johannes Kepler Universität Linz

Grundlage für jede modellbasierte Steuerung und Regelung ist ein Modell. Die Regelgüte hängt folglich von der Qualität des Modells, d. h. insbesondere der Modellparameter ab. Methoden für die Identifikation der Parameter von nichtredundanten Robotern sind hinlänglich bekannt. Für redundante Roboter war dieses Problem bisher nicht erschöpfend behandelt. Als Lösung wurde im Projekt Parameteridentifikation redundanter Roboter ein Verfahren zur Parameteridentifikation für redundante Roboter entwickelt [1]. Damit ist ein wichtiger Schritt für den Einsatz redundanter Manipulatoren gemacht.

Die Anwendung klassischer Regelungsstrategien auf flexible (Leichtbau-)Roboter führt zu großen Positionierfehlern, insbesondere dann, wenn es sich um Bewegungen mit großen Geschwindigkeiten handelt. Dieses Problem wurde im Rahmen mehrerer Projekte angegangen und eine allgemeingültige Methode für die modellbasierte Regelung entwickelt [2, 3]. Für verschiedene Manipulatoren wurde auf Grundlage detaillierter dynamischer Modelle jeweils ein Minimalmodell abgeleitet, das als Basis für die Regelung dient. Das modellbasierte Regelkonzept wurde auf einer Industriesteuerungseinheit der Firma Bernecker & Rainer implementiert. Die Methode ermöglicht beispielsweise, eine Positionieraufgabe mit einem elastischen Roboter durchzuführen, wobei nur 10 % des Energiebedarfs eines Standardindustrieroboters benötigt werden. Die zeitoptimale Bahnplanung ist natürlich auf Standardindustrieroboter anwendbar. Dabei werden sowohl Begrenzungen der Motormomente, der Beschleunigungen und Rucke, also auch Hindernisse, berücksichtigt.

Für die Interaktion mit der Umgebung und aus Sicherheitsaspekten ist die Regelung der Kraft, die ein Roboter auf seine Umgebung ausübt, notwendig. Es wurde ein adaptiv lernendes Verfahren entwickelt, welches sicherstellt, dass eine vorgegebene Kraft oder ein Kraftprofil erzeugt wird [4]. Der adaptive Charakter des Verfahrens sichert eine Robustheit der Methode.

#### 4.3 Universität Innsbruck

Der Arbeitsbereich Geometrie und CAD leitet bzw. leitete eine Vielzahl durch den FWF geförderter Grundlagenprojekte. Darunter sind Kinematic Analysis of Lower-Mobility Parallel Manipulators Using Efficient Algebraic Tools, FWF grant I 1750-N26, Algebraic Methods in Kinematics: Motion Factorisation and Bond Theory, FWF grant P 26607, und Algebraic Methods in Collision Detection and Path Planning, FWF grant P 23832-N13. Daneben gibt es Projekte im WTZ-Programm (Wissenschaftlich Technische Zusammenarbeit) mit Rumänien (Untersuchungen von parallelen Manipulatoren für den chirurgischen Einsatz (Brachytherapie) und Frankreich (Algebraische Methoden zur Untersuchung niedrigdimensionaler paralleler Manipulatoren).

Die Arbeitsgruppe für Intelligente und Interaktive Systeme (IIS) ist derzeit in vier EU-FP7-Projekten aktiv, die sich mit verschiedenen Aspekten der autonomen Robotik befassen. Alle erweitern die Grenzen der Autonomie an verschiedenen Fronten. Das Projekt 3rd Hand (2013–2017) entwickelt maschinelle Lernmethoden, mittels

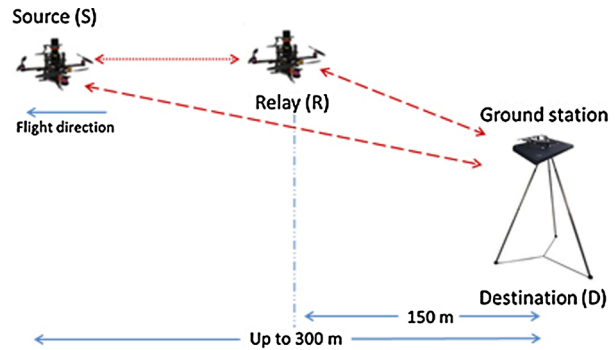


Abb. 1. Beispiel für eine Multi-Drohnen-Netzwerkarchitektur

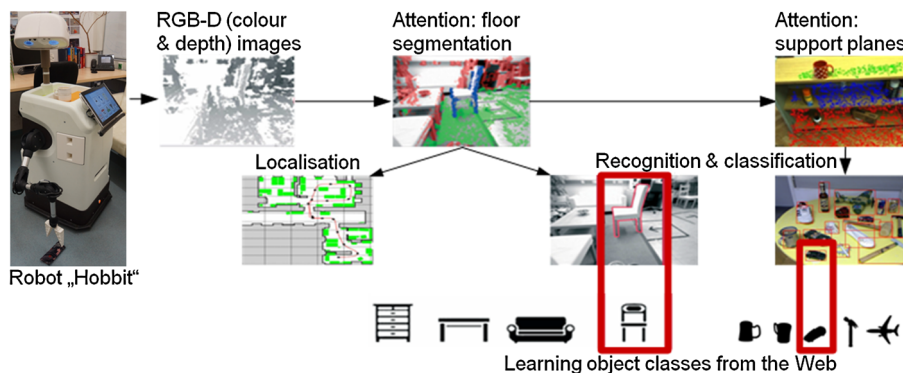
derer ein Roboterarm die Rolle einer dritten, halbautonomen Hand für kollaborative Fabrikation übernehmen kann. Die IIS-Gruppe trägt hierzu Methoden der visuellen Wahrnehmung bei, sowohl von Objekten als auch für die Mensch-Roboter-Interaktion. Das PaCMan-Projekt (2013–2016) entwickelt hierarchische, multimodale Objektrepräsentationen für die Wahrnehmung von und Interaktion mit Objekten. Diese Repräsentationen ermöglichen beispielsweise die Planung von Exploration und Manipulation, die Generalisierung zu neuen Objekten über gemeinsame Eigenschaften etc. IIS spielt eine zentrale Rolle in der probabilistischen Zusammenführung visueller, taktiler und anderer Sensorinformationen in hierarchischen Modellen. Das Ziel des SQUIRREL-Projekts (2014–2018) ist ein Spielzeugroboter, der gemeinsam mit seinem Besitzer das Kinderzimmer aufräumt. Forschungsziele umfassen die Lokalisierung und Navigation, das Erkennen und die Klassifikation von Objekten, die Entwicklung von Hardware und die Mensch-Roboter-Interaktion. Die IIS-Gruppe untersucht Methoden des Greifens und der Wegsortierung bekannter und unbekannter Objekte. Das Xperience-Projekt (2011–2015) hat Lernmethoden zum Ziel, die es Robotern ermöglichen, komplexe Fertigkeiten und Zusammenhänge unter Nutzung von bereits Gelerntem zu erlernen. IIS ist nicht nur an der visuellen Wahrnehmung beteiligt, sondern spielt eine zentrale Rolle im Erlernen von Analogien und hat gezeigt, wie Roboter sensomotorische Interaktionen selbstständig nach Schwierigkeit sortiert lernen können, wobei einfachere Fertigkeiten gegebenenfalls komplexeren behilflich sind, um anschließend komplexe, zielgerichtete Interaktionssequenzen planen und durchführen können.

#### 4.4 Alpen-Adria-Universität Klagenfurt

Das über die Lakeside Labs vom KWF geförderte Forschungsprojekt Self-organizing Intelligent Network of UAVs (SINUS) untersucht Entwurfsmethoden für Multi-Robotersysteme am Beispiel von batteriegetriebenen Flugrobotern (Mikrodrohnen). Mikrodrohnen-Systeme können prinzipiell in vier Hauptkomponenten aufgeteilt werden: (i) die Drohnen-Plattform, (ii) die Datenerfassung und -auswertung, (iii) die drahtlose Datenübertragung zwischen Drohnen und Bodenstation und (iv) die Koordinierung der einzelnen Drohnen-Aufgaben (vgl. Abb. 1). Das wesentliche Ziel von SINUS ist die Abstraktion und Interaktion dieser vier Komponenten, um sensing-networking-acting einfach zu integrieren und für verschiedene Anwendungen realisieren zu können.

Ein weiteres über die Lakeside Labs vom KWF gefördertes Projekt verfolgte das Ziel, Sensordaten mit Hilfe von kooperierenden und vernetzten Mikrodrohnen zu erfassen und zu interpretieren sowie diese abstrahierten Daten in geeigneter Form Einsatzkräften zur Verfügung zu stellen. Dazu formieren sich die Mikrodrohnen selbstorganisierend, überfliegen das Einsatzgebiet und übermitteln die er-





**Abb. 2.** Der Roboter HOBbit baut schrittweise ein situiertes Verstehen der Umgebung auf: freier Boden für Navigation, angrenzende Möbel, horizontale Flächen und Objekterkennung

fassten Sensordaten zur Bodenstation. Die Daten der einzelnen Mikrodrohnen werden fusioniert und iterativ zu einem multispektralen Gesamtbild zusammengefasst, das dann den Benutzern zur weiteren Analyse mit Hilfe einer Benutzeroberfläche übermittelt wird [21–23].

#### 4.5 Technische Universität Graz

Das Institut für Grundlagen der Informationsverarbeitung bearbeitete und bearbeitet eine Vielzahl von Grundlagenforschungsprojekten. Das prestigeträchtigste Projekt ist das EU Flagship Project The Human Brain. Das Institut ist am Subprojekt Mathematical and Theoretical Foundations of Brain Research beteiligt. Ziel des Projektes ist es, mathematische Modelle zur Darstellung verschiedener Aspekte des Gehirns und seiner Funktionsweise zur Verfügung zu stellen. Im EU FP7-geförderten Projekt AMARSI wurde an innovativen Lernalgorithmen gearbeitet, die es Robotersystemen erlauben, komplexe und natürliche Bewegungen zu lernen. Folgende Projekte wurden und werden im Bereich Robotik vom Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen durchgeführt. In dem durch den FWF geförderten Gemeinschaftsprojekt V-MAV mit der ETH Zürich und der TU München werden kooperative Flugsysteme untersucht. An der TU Graz liegt der Schwerpunkt auf kooperativer Lokalisierung und der Extraktion von semantischer Information für autonome Flugroboter. Im durch die FFG finanzierten Bridge-Projekt Freeline soll aus Luftaufnahmen automatisch die Vegetation (und andere Störfaktoren) für Hochspannungsleitungen ermittelt werden. Im EU FP7-Projekt 3D-Pitoti werden steinzeitliche Steinmarkierungen erfasst. Die Aufgabe des Institutes ist es, 3D-Modelle der Felsen aus Luftbildern zu erstellen und in Beziehung zu detaillierten 3D-Aufnahmen zu setzen. Das FIT-IT-Projekt Construct widmet sich der Dokumentation des Baustellenfortschritts durch tägliche Befliegungen (durch 3D-Rekonstruktion stehen auch metrische Informationen zur Verfügung) und durch die Visualisierung auf einer mobilen Augmented Reality-Plattform. Das Institut für Softwaretechnologie führt und führte die folgenden Forschungsprojekte durch. Im durch die EU geförderten Projekt Technology and Education for Urban Search and Rescue Robots (TEDUSAR) wurde an der Entwicklung von autonomen Robotern zur Unterstützung von Einsatzkräften und die Eingliederung der Roboter in Katastrophensätzen gearbeitet. Im FWF-geförderten Projekt Active Belief Repair for Intelligent Autonomous Robots (ABRIAR) wurde an Strategien gearbeitet, die es einem autonomen Roboter erlauben, festzustellen, ob seine Wissensbasis fehlerhaft oder inkonsistent ist, und weiters eine automatische Reparatur durch zusätzliche geplante Aktivitäten erlauben. Ziel des FFG Bridge-Projekts Guaranteeing Service Robot Dependability During the Entire Life Cycle (GUARD) ist

die Entwicklung von integrierten Test- und Diagnose-Verfahren auf der Ebene von einzelnen Komponenten, einzelnen Robotern und eines Multi-Roboter-Systems, um die Zuverlässigkeit einer Flotte von Servicerobotern in einem industriellen Umfeld zu erhöhen. Speziell steht die leichte Integration der Methoden in den industriellen Entwicklungs- und Installationsprozess im Fokus. Im EU FP7-Projekt eDAS werden Modell-basierte Testmethoden für den Second Level Support im Bereich elektrischer Fahrzeuge entwickelt. Die entwickelten Methoden kombinieren Fehlerinjektion und Testorakel, die aus Anforderungen generiert werden.

#### 4.6 Technische Universität Wien

Stürze älterer Personen sind die häufigste Ursache um in einem Heim zu landen. Ziel des EU-Projekts HOBbit ist, einen Roboter zur Unterstützung älterer Personen zu entwickeln, der Dinge vom Boden aufhebt und transportiert, Unterhaltung bietet und zu aktiven Tätigkeiten anregt [35]. Abb. 2 veranschaulicht den Ansatz um schrittweise Wissen über die Umgebung aufzunehmen und damit Erkennungsmethoden robuster zu machen. Dies erfolgt durch gegenseitige Unterstützung: Während der Roboter dem Benutzer hilft, muss auch der Mensch Verständnis für die Maschine aufbringen, z. B. Türen aufmachen oder einen Stuhl wegschieben, der den Weg verstellt. In ersten Versuchen sind 87 Prozent der Testpersonen (49 Personen über 75 Jahre aus Schweden, Griechenland und Österreich) überzeugt, dass ihnen Hobbbit helfen kann, sich zu Hause sicherer zu fühlen und gemietet werden sollte [36].

Im EU-Projekt Squirrel werden Objekte auch in komplizierten Szenen erkannt [37]. Im nächsten Schritt greift der Roboter die Teile einzeln, um auch die noch nicht erkannten Objekte einzulernen. Somit gelingt es, auch beliebige Gegenstände aufzuheben [38]. Noch effizienter können Objekte gelernt werden, wenn 3D-Modelle aus dem Web verwendet werden. Mit dieser Methode konnten bereits über 100 Objektklassen gelernt werden [39]. Um hohe Erkennungsraten zu erzielen, wird eine Verifikation wie in Abb. 3 durchgeführt. Somit können Szenen mit vielen nebeneinander stehenden Objekten zuverlässig bearbeitet werden [40]. Objekte mit einem Verdeckungsgrad bis zu 80 Prozent können erkannt werden. Dadurch wird es möglich, auch komplexe Szenen in Haushalt und Industrieumgebung zu erfassen und einzelne Objekte zuverlässig zu erkennen.

#### 4.7 Profactor GmbH

Das bereits erfolgreich abgeschlossene Projekt Locobot (Low Cost Robot Co Worker) veranschaulicht das deutlich. In diesem Projekt mit internationalen Partnern wurde ein Industrieroboter im „Baukastensystem“ entwickelt. Eine Toolchain verwandelt ergonomisch



**Abb. 3. Tischszene und die erkannten Objekte. Objektmodelle aus dem Web und durch manuelle Modellierung optimal eingepasst in die vom Roboter aufgenommen Punktwolke einer Tischszene**

ungünstige („rote“) Arbeitsplätze in „grüne“. Ein Set aus kinematischen Plug-and-Produce-Modulen mit präzisen Aktuatoren und intelligenten Sensoren steuert die Mensch-Maschine-Kooperation. In der Praxis heißt das: Der Roboter bringt die – in der Regel schweren – Anbauteile zum richtigen Montageplatz, der Mensch greift, vorwiegend bei filigranen, wertschöpfenden Arbeitsschritten ein. Die gelungene Kommissionierung schwerer Teile in der industriellen Praxis – mit einem Partner aus der Automobilindustrie – veranschaulicht das Projekt: Das System erkennt die Objektlage (zum Beispiel von Batterien). Die relevanten schweren Bauteile können auch in schwer zugänglichen und unstrukturierten Umgebungen visuell lokalisiert werden. Darauf aufbauend plant der „Kollege Roboter“ seine manuelle Hilfsleistung eigenständig – und ohne den Menschen dabei zu gefährden. Eine ähnliche Thematik wird in dem FP7-Projekt „Custompacker“ behandelt [41–51].

Auch in dem im Jahr 2014 gestartete Projekt NEXGEN steht die intelligente Mensch-Maschine-Kooperation im Mittelpunkt. Die Kooperation des Roboters mit leistungsgewandelten Mitarbeitern macht den Human Centered Production-Ansatz deutlich. Die Ausstattung des Roboters mit kognitiven Fähigkeiten steht im Mittelpunkt. Das System soll ein semantisches Verständnis von manuellen Tätigkeiten wie Montieren oder Fügen entwickeln und den Arbeitsfortschritt oder die Prozessqualität verstehen. Der Roboter wird damit in seiner Autonomie gestärkt und ist einfacher zu programmieren. Zugleich ist er dazu fähig, auf Störungen und Veränderungen im Arbeitsraum adaptiv reagieren zu können. Das maschinelle Verstehen basiert auf einer Generalisierung von Aufgaben und Prozessen: Die semantische Datenspeicherung erleichtert dabei die Anpassung des Systems an neue Aufgaben. Die Ausstattung mit kognitiven Fähigkeiten wird durch multimodale (taktile, visuelle, Audio) Sensorik erzielt.

Das in H2020 laufende Projekt SYMBIO-TIC (Symbiotic human-robot collaboration for safe and dynamic multimodal manufacturing systems) zielt darauf ab, ein neuartiges hybrides Montage- und Verpackungssystem zu entwickeln. Dieses arbeitet in einer dynamischen Fabriks Umgebung und basiert auf Mensch-Roboter-Interaktion. Das System wird bei der Aufgabenplanung und Ausführung kontextbezogen sein, in geteilten offenen Arbeitsplätzen sicher für Menschen, flexibel und adaptiv bei dynamischen Änderungen und natürlich auch kostengünstig realisiert werden. Das Projekt wird (1) die Lücke zwischen automatischen, aber inflexiblen Robotern und arbeitsintensiven manuellen Tätigkeiten schließen; (2) die Kraft und Wiederholbarkeit von Robotern mit der Genauigkeit und Flexibilität des Menschen kombinieren; (3) die gesamte Produktivität mit Hilfe zuverlässiger und sicherer Mensch-Roboter-Kooperation verbessern und (4) die Flexibilität bei unerwarteten Änderungen in der

Produktion verbessern. Das Projekt hat als übergeordnetes Ziel, innovative Technologien zu Fabriken der Zukunft zu liefern und damit europäischen Hersteller die Möglichkeit zu geben, effektiv auf dem globalen Markt konkurrieren zu können. Um ein kollaboratives Mensch-Roboter-System zu entwickeln, werden vier Anforderungen adressiert: (1) Absichern von Mitarbeitern während der Interaktion mit dem Roboter; (2) Generieren von spontanen Arbeitsplänen für gemischte Mensch-Roboter-Aktivitäten; (3) schnelle und korrekte dynamische Adaption und Steuerung von Roboter mit „Zero-Programming“ durch Roboteranwender und (4) effektives Interagieren via multimodaler Schnittstellen.

### 5. Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die österreichische Forschungslandschaft im Bereich Robotik vorgestellt. Das Spektrum der beteiligten Institutionen ist thematisch sehr breit und reicht von der Regelung komplexer mechanischer/mechatronischer Strukturen über die Wahrnehmung bis zur Kognition. Auch die Bandbreite der Anwendungsnähe der Forschung ist groß und reicht von sehr grundlegenden Forschungen bis zu sehr anwendungsorientierten Arbeiten. Die Beteiligung der österreichischen Forschungsinstitutionen an zahlreichen nationalen und internationalen Forschungsprojekten zeigt die Breite und Qualität der österreichischen Robotik-Forschung.

Als ein gemeinsamer zukunftssträchtiger Anwendungsbereich, der im Interesse mehrerer Institutionen liegt, konnte der intelligente Co-Worker für die Industrie, der direkt mit dem Menschen zusammenarbeitet und interagiert, identifiziert werden. Hier besteht in Zukunft Forschungsbedarf in allen Bereichen, die mit Mensch-Maschine-Kollaboration zusammenhängen. Diese Bereiche umfassen die sichere Steuerung von Robotern, Wahrnehmung und Kognition. Ferner sind die Bereiche Maschinelles Lernen und die Gewinnung, die Verteilung und die Verwendung von Wissen durch Roboter im Fokus.

Die österreichische Robotikforschung ist zwar sehr breit aufgestellt, jedoch gibt es noch besonders Lücken an den beiden Enden der Forschungskette. Es gibt in Österreich nur sehr wenige Forschungsprojekte, die sich mit langfristigen und grundlegenden Fragestellungen beschäftigen. Zum anderen ist die Kultur des Entrepreneurships, die neue Unternehmen und einen Transfer der Forschung in Produkte ermöglicht, nicht sehr ausgeprägt. Als Basis für zukünftige Arbeiten im Bereich der Robotik, sowohl in Forschung als auch in ihrer wirtschaftlichen Verwertung, sollte die Ausbildungskapazität im Bereich Robotik auf Master- und Doktoratsebene ausgebaut werden. Diese Aspekte zu verbessern ist ein zentrales Anliegen der neu gegründeten Arbeitsgruppe Robotik in der GMAR.

Abschließend muss erwähnt werden, dass Robotik ein stark interdisziplinäres Feld ist. Hier ist substantielle Forschung nur in Kooperation verschiedener Fachbereiche möglich. Hier fehlen in Österreich auf nationaler Ebene größere Verbundprojekte. Mit Schaffung einer österreichischen Robotics Research Roadmap sollen Potentiale und Entwicklungsrichtungen aufgezeigt werden und der Ausbau solcher wichtigen Leuchtturmprojekte stimuliert werden.

#### Literatur

- euRobotics aisbl (2014): Strategic research agenda for robotics in Europe.
- Neubauer, M., Gattringer, H., Bremer, H. (2014): A persistent method for parameter identification of a seven-axes manipulator. *Robotica*, 1(14).
- Gattringer, H., Oberhuber, B., Mayr, J., Bremer, H. (2013): Recursive methods in control of flexible joint manipulators. *Multibody Syst. Dyn.*, 32(1), 117–131.
- Springer, K., Gattringer, H., Stauffer, P. (2013): On time-optimal trajectory planning for a flexible link robot. In Proceedings of the institution of mechanical engineers, part I: journal of systems and control engin (Bd. 227, S. 751–762).
- Parzer, H., Gattringer, H., Neubauer, M. (2014): Dynamic modeling and force control of a redundant robot for polishing applications. In Proceedings in applied mathematics and mechanics (Bd. 14).
- Ramsauer, M., Kastner, M., Ferrara, P., Naderer, R., Gattringer, H. (2012): A pneumatically driven stewart platform used as fault detection device. In Applied mechanics and materials (Bd. 186, S. 227–233).
- Stauffer, P., Gattringer, H. (2012): State estimation on flexible robots using accelerometers and angular rate sensors. In *Mechatronics* (Bd. 2012, S. 1043–1049).
- Gattringer, H., Bremer, H., Kastner, M. (2011): Efficient dynamic modeling for rigid multi-body systems with contact and impact – an  $O(n)$  formulation. In *Acta mechanica* (Bd. 219, S. 111–128).
- Hufnagel, T., Müller, A. (2012): A Projection Method for the Elimination of Contradicting Decentralized Control Forces in Redundantly Actuated PKM. *IEEE Trans. Robot.*, 28(3).
- Müller, A. (2005): Internal preload control of redundantly actuated parallel manipulators – its application to backlash avoiding control. *IEEE Trans. Robot.*, 21(4), 668–677.
- Teney, D., Piater, J. (2014): Multiview feature distributions for object detection and continuous pose estimation. *Comput. Vis. Image Underst.*, 125, 265–282.
- Detry, R., Kraft, D., Kroemer, O., Bodenhausen, L., Peters, J., Krüger, N., Piater, J. (2011): Learning grasp affordance densities. *Paladyn J. Behav. Robot.*, 2(1), 1–17.
- Detry, R., Piater, J. (2013): Unsupervised learning of predictive parts for cross-object grasp transfer. In IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (S. 1720–1727).
- Ugur, E., Piater, J. (2015): Bottom-up learning of object categories, action effects and logical rules: from continuous manipulative exploration to symbolic planning. In International conference on robotics and automation.
- Szedmak, S., Ugur, E., Piater, J. (2014): Knowledge propagation and relation learning for predicting action effects. In IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (S. 623–629).
- Andre, T., Neuhold, D., Bettstetter, C. (2014): Coordinated multi-robot exploration: out of the box packages for ROS. In Proceedings of the IEEE GLOBECOM WiUAV workshop.
- Andre, T., Hummel, K., Schoellig, A., Yanmaz Mahdi Asadpour, E., Bettstetter, C., Grippa, P., Hellwagner, H., Sand, S., Zhang, S. (2014): Application-driven design of aerial communication networks. *IEEE Commun. Mag.*, 52(5), 129–137.
- Fehervari, I., Elmenreich, W. (2010): Evolving neural network controllers for a team of self-organizing robots. *J. Robot.*, 10.
- Khan, A., Yanmaz, E., Rinner, B. (2015): Information exchange and decision making in micro aerial vehicle networks for cooperative search. In IEEE transactions on control of networked systems.
- Mersheeva, V., Friedrich, G. (2015): Multi-UAV monitoring with priorities and limited energy resources. In Proceedings of International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS).
- Quaritsch, M., Kruggl, K., Wischounig-Strud, D., Bhattacharya, S., Shah, M., Rinner, B. (2010): Networked UAVs as aerial sensor network for disaster management applications. *E&I, Elektrotech. Inf.tech.*, 127(3), 56–63.
- Rinner, B., Quaritsch, M., Wischounig-Strud, D., Yahyanejad, S. (2014): Apparatus and method for generating an overview image of a plurality of images using an accuracy information. U.S. Patent.
- Saeed, Y., Rinner, B. (2014): A fast and mobile system for registration of low-altitude visual and thermal aerial images using multiple small-scale UAVs. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*
- Yanmaz, E., Kuschnig, R., Bettstetter, C. (2013): Achieving air-ground communications in 802.11 networks with three-dimensional aerial mobility. In Proc. IEEE INFOCOM (S. 120–124).
- Schlegl, T., Kröger, T., Gaschler, A., Khatib, O., Zangl, H. (2013): Virtual whiskers: highly responsive robot collision avoidance. In Proceedings of the IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems.
- Scaramuzza, D., Achtelik, M. C., Doitsidis, L., Fraundorfer, F., Kosmatopoulos, E. B., Martinelli, A., Achtelik, M. W., Chli, M., Chatzichristofis, S. A., Kneip, L., Gurdan, D., Heng, L., Lee, G. H., Lynen, S., Meier, L., Pollefeys, M., Renzaglia, A., Siegwart, R., Stumpf, J. C., Tanskanen, P., Troiani, C., Weiss, S. (2014): Vision-Controlled Micro Flying Robots: from System Design to Autonomous Navigation and Mapping in GPS-denied Environments. *IEEE Robot. Autom. Mag.* 21(3).
- Wendel, A., Maurer, M., Graber, G., Pock, T., Bischof, H. (2012): Dense reconstruction on-the-fly. In 2012 IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (S. 1450–1457).
- Heber, M., Rüther, M., Bischof, H. (2010): Catadioptric multiview pose estimation for robotic pick and place. In International conference on computer vision theory and applications (VISAPP) (S. 423–426).
- Mostegel, C., Wendel, A., Bischof, H. (2014): Active monocular localization: towards autonomous monocular exploration for multirotor MAVs. In 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (S. 3848–3855).
- Steinbauer, G., Kleiner, A. (2012): Towards CSP-based mission dispatching in C2/C4I systems. In IEEE international symposium on Safety Security and Rescue Robotics (SSRR), College Station, TX, USA.
- Action-Based Imperative Programming with YAGI, Ferrein, A., Steinbauer, G., Vassos, S. (2012): In Proceedings of the 8th international workshop on Cognitive Robotics (CogRob-2012) of the 26th AAAI conference (AAAI-2012) conference, Toronto ON, Canada.
- Zaman, S., Steinbauer, G., Maurer, J., Lepej, P., Uran, S. (2013): An integrated model-based diagnosis and repair architecture for ROS-based robot systems. In ICRA 2013 (S. 482–489).
- Gspandl, S., Pill, I., Reip, M., Steinbauer, G., Ferrein, A. (2011): Belief management for high-level robot programs. In International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) (S. 900–905).
- Wotawa, F. (2012): Adaptive autonomous systems – from the system’s architecture to testing. In R. Hähnle, J. Knoop, T. Margaria, D. Schreiner, B. Steffen (Hrsg.), Communications in computer and information science, leveraging applications of formal methods, verification, and validation (Bd. 336, S. 76–90). Berlin: Springer. ISBN 978-3-642-34780-1.
- Papoutsakis, K., Wohlkinger, W., Mayer, P., Panek, P., Hofmann, S., Koertner, T., Weiss, A., Argyros, A., Vincze, M., Fischinger, D., Einramhof, P. (2014): Hobbit, a care robot supporting independent living at home: First prototype and lessons learned. *Robot. Auton. Syst.*
- Weiss, A., Vincze, M., Huber, A., Lammer, L. (2014): Designing adaptive roles for socially assistive robots: a new method to reduce technological determinism and role stereotypes. *J. Hum.-Robot Interact.*, 3.
- Aldoma, A., Tombari, F., di Stefano, L., Vincze, M. (2012): A global hypotheses verification method for 3d object recognition. In European Conference on Computer Vision 2012 (ECCV2012).
- Fischinger, D., Weiss, A., Vincze, M. (2015): Learning grasps with topographic features. *Int. J. Robot. Res.*
- Wohlkinger, W., Vincze, M. (2011): Shape-based depth image to 3d model matching and classification with inter-view similarity. In Proc. of the IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems 2011.
- Aldoma, A., Marlton, Z.-C., Tombari, F., Wohlkinger, W., Potthast, C., Zeisl, B., Radu Bodgan, Rusu, S., Giedikli (2012): Using the point cloud library for 3d object recognition and 6d of pose estimation. *IEEE Robot. Autom. Mag.*, 2012, 12.
- Pichler, A., Wögerer, C. (2011): Towards robot systems for small batch manufacturing. In ISAM 2011, international symposium on assembly and manufacturing, Tampere, Finland.
- Barattini, P., Wögerer, C., Robertson, N., Morand, C., Pichler, A., Rovetta, A., Corradini, A., Samani, H., Hopgood, J., Almajai, I. (2012): Human interaction with industrial collaborative autonomous robots. In Workshop on the 21st IEEE international symposium on robot and human interactive communication, Paris, France.
- Wögerer, C., Bauer, H., Rooker, M., Ebenhofer, G., Rovetta, A., Robertson, N., Pichler, A. (2012): LOCOBOT – low cost toolkit for building robot co-workers in assembly lines. In International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA) (S. 449–459).
- Wögerer, Ch., Pichler, A., Plasch, M., Bauer, H., Rovetta, A., Tornari, M., Barattini, P., Bonasso, M., Neumann, R., Röttenbacher, M., Staehr, M., Strassmeir, Ch., Hopgood, J., Almajai, I., Morand, C., Robertson, N., Ferrara, P. (2013): Tailor made robot co-workers based on a Plug&Produce framework. In 23rd international conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM), Porto, Portugal.
- Wögerer, Ch., Pichler, A., Rooker, M., Angerer, A., Capco, J., Heindl, Ch., Olarra, A., Fuentes, E. (2013): Flexible grasping of electronic consumer goods. In FAIM 13, 23rd international conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM), Porto, Portugal.
- Wögerer, Ch., Pichler, A., Plasch, M., Bauer, H., Rovetta, A., Tornari, M., Barattini, P., Bonasso, M., Neumann, R., Röttenbacher, M., Staehr, M., Strassmeir, Ch., Hopgood, J.,

- Almajai, I., Morand, C., Robertson, N., Ferrara, P. (2013): Tailor made robot co workers based on a plug & produce framework. In *Robotics in smart manufacturing, WRSM 2013*. CCIS (Bd. 371, S. 113–126).
47. Woegerer, Ch., Pichler, A., Rooker, M., Angerer, A., Capco, J., Heindl, Ch., Olarra, A., Fuentes, E. (2013): Flexible grasping of electronic consumer goods. In *Robotics in smart manufacturing, WRSM 2013*. CCIS (Bd. 371, S. 158–169).
48. Wögerer, Ch., Rooker, M., Pichler, A., Angerer, A., Wallhoff, F., Blume, J., Bannatt, A., Ferrara, P., Olarra, A., Kiirikki, J. (2013): A robotic assistance system for flexible packaging consumer goods using in electronic industry. 22nd international workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube region (RAAD), Slovenia, Portorož.
49. Barattini, P., Morand, C., Almajai, I., Robertson, N., Hoggood, J., Ferrara, P., Bonasso, M., Strassmair, C., Rottenbacher, M., Staehr, M., Neumann, R., Tornari, M., Roveveta, A., Plasch, M., Bauer, H., Capco, J., Woegerer, C., Pichler, A. (2013): Towards Tailor made robot co workers based on a plug & produce framework". In 2013 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM), Xi'an, China.
50. Woegerer, Ch., Rooker, M., Angerer, A., Kopf, Ch., Pichler, A. (2014): A fast and accurate recognition system for flexible grasping of electronic goods. In 24th international conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM), San Antonio, Texas, USA.
51. Rooker, M., Wögerer, C., Angerer, A., Kopf, C., Capco, J., Olarra, A., Fuentes, E., Zwicker, C., Pichler, A. (2014): Flexible grasping of electronic consumer goods. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*