cima.

INSTITUT FÜR INNOVATION UND TECHNIK

# Potenziale, Chancen und Risiken neuer Entwicklungen im Bereich der Robotik in der Region Hannover

**Studie im Auftrag der Wirtschaftsförderung der Region Hannover**

2016

**CIMA Institut für Regionalwirtschaft GmbH**

Moocksgang 5

30169 Hannover

**iit- Institut für Innovation und Technik**

Steinplatz 1

10623 Berlin

**Autoren**

CIMA IfR: Arno Brandt, Marc Danneberg, Lina Polom

iit: Marc Bovenschulte, Sebastian Weide, Stephan Richter

## Inhaltsverzeichnis


**1 Zielsetzung der Studie ... 4**

**2 Industrie- und Servicerobotik ... 5**

**3 Grundlagen adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme ... 10**

**4 Wissenschaftliche Potenziale ... 18**

4.1 Robotik in der Wissenschaftslandschaft Hannovers ... 18
4.2 Forschungsschwerpunkte in Deutschland und der Region Hannover ... 25
4.3 Zwischenfazit ... 29

**5 Wirtschaftliche Potenziale ... 31**

5.1 Regionales Entwickler- und Anwenderpotenzial ... 31
5.2 Kooperationsstrukturen ... 37
5.3 Zwischenfazit ... 42

**6 Fallbeispiele: Start-ups in der Robotik ... 44**

**7 Regionale Initiativen ... 53**

**8 Integration der Ergebnisse und strategische Handlungsfelder ... 56**

**9 Interviewpartnerinnen und Interviepartner ... 62**

**10 Literaturverzeichnis ... 63**

**11 Abbildungsverzeichnis ... 67**

**12 Tabellenverzeichnis ... 69**

**13 Übersicht regionaler Forschungseinrichtungen ... 70**

# 1 Zielsetzung der Studie

Die Region Hannover zeichnet sich durch eine Vielzahl an Aktivitäten rund um das Thema Automatisierungs- und Fertigungstechnik sowie Robotik aus. Im Mittelpunkt steht dabei das Produktionstechnische Zentrum (PZH) der Leibniz Universität Hannover (LUH) und der Ausbau des Maschinenbaucampus in Garbsen, der zusammen mit dem Wissenschaft- und Technologiepark in Hannover-Marienwerder den Forschungscampus Hannover-Garbsen bildet. Mit dem Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) und dem Laserzentrum Hannover (LZH) sind hier zwei weitere international anerkannte Einrichtungen tätig. Daran anknüpfend wurden verschiedene Initiativen ins Leben gerufen, um insbesondere die Themen Robotik und Automatisierung weiter zu stärken und die gesamte „Wissens- und Wertschöpfungskette“ in der Region abzubilden:

- Etablierung eines Kompetenzzentrums Mittelstand 4.0 „Mit uns digital – Das Zentrum für Niedersachsen und Bremen“ am Produktionstechnischen Zentrum in Garbsen und eines Kompetenzzentrums Digitales Handwerk am Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik, beide an der Leibniz Universität Hannover
- Entwicklung und Implementierung einer „Roboterfabrik“ an der Leibniz Universität
- Entwicklung des Konzepts „Technologieorientiertes Unternehmertum“ an der LUH
- Einrichtung des Roberta-RegioZentrums am Johannes-Kepler-Gymnasium in Garbsen
- Etablierung eines Industrieforums „Kompetenzen in der Fertigungstechnik“
- Konzipierung technischer Weiterbildungsmaßnahmen am Beispiel der Automatisierungstechnik (MIWeB)

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Studie, eine Systematisierung der technologischen und Anwendungspotenziale neuartiger adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme, eine daran ausgerichtete Akteurs- und Potenzialanalyse der Region Hannover und eine Abschätzung ökonomischer Chancenräume vorzunehmen. Im Fokus der Analyse stehen „neue“ und „intelligente“ Formen der Automatisierung, wie sie sich in aktuellen Entwicklungen im Bereich Assistenzsysteme und einer zunehmenden von Prinzipien der Mensch-Technik-Kollaboration geprägten Robotik manifestieren. Um vertiefende Einblicke in die spezifischen regionalen Stärken und Schwächen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme am Standort Hannover zu gewinnen, wurde eine Reihe von Interviews mit Robotik-Experten aus der Region durchgeführt. Basierend auf den quantitativen und qualitativen Analysen werden (innovations-) politische Initiativen skizziert, mit denen die weitere Entwicklung von Robotik-Lösungen in der Region flankiert werden könnte.

## 2 Industrie- und Servicerobotik

Roboter sind im klassischen Sinne technisch betriebene Systeme, die in einem festgelegten Rahmen und einer festgelegten Umgebung autonom funktionieren oder agieren können und bestimmungsmäße Aufgaben ausführen:

> „Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d. h. ohne mechanischen bzw. menschlichen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.“ (Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 1990)

In der Robotik wird im Wesentlichen zwischen Industrierobotern, die in der industriellen Produktion eingesetzt werden, und Servicerobotern, die sowohl privat als auch gewerblich eingesetzt werden, unterschieden. Während Industrieroboter vor allem in meist genau definierten Arbeitsräumen (aus Sicherheitsgründen oftmals in Käfigen) eingesetzt werden, agieren Service- und Dienstleistungsroboter („Alltagsroboter“) auch außerhalb solcher stringenten Beschränkungen. Im privaten Gebrauch unterstützen etwa Staubsaugerroboter die Hausarbeit und im gewerblichen Einsatz gewinnen teilautomatisierte Systeme zunehmend an Bedeutung, z. B. bei chirurgischen Eingriffen. Letztendlich sind auch autonome Fahrzeuge technische Systeme zur (eigenständigen) Erbringung von Mobilitätsdienstleistungen.

Während Industrieroboter relativ trennscharf definierbar sind gilt dies nicht für Serviceroboter, weil sie auch im gewerblichen Rahmen und zum Teil in der industriellen Produktion genutzt werden. Deshalb sind weitere zentrale Merkmale nötig, um die Servicerobotik besser gegenüber der Industrierobotik abgrenzen zu können:

- Besondere Bedienkenntnisse sind nicht nötig und die Bedienung von Laienanwendern ist gängig.
- Die Roboter funktionieren oder agieren in wenig strukturierten oder offenen Einsatzumgebungen.
- Ein Einsatz in vollautomatisierten industriellen Produktionsstraßen ist ausgeschlossen.

Ergänzend zur Definition von Industrierobotern, die in erster Linie gemäß ihrem Einsatz in der Produktion begrifflich gefasst werden, hat sich zudem eine Definition für Serviceroboter etabliert, die angesichts des sehr viel breiteren Anwendungsspektrums derartiger Systeme vergleichsweise unspezifisch ausfällt:

> „Roboter, der nützliche Aufgaben für Menschen, die Gesellschaft oder Einrichtungen verrichtet, mit Ausnahme von Anwendungen in der industriellen Automatisierung“ (DIN-Normenausschuss Maschinenbau 2010).

Diese sehr weit gefasste Definition beschreibt die Neuartigkeit des Begriffs des Service- bzw. Alltagsroboters. Es ist zu erkennen, dass der Entwicklungsstand in diesem Bereich noch vergleichsweise basal ist. Angesichts des Paradigmas von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen, das sowohl den „neuen“ Industrierobotern, kooperativ agierende robotische Systeme „Koboter“ (Cobots), als auch den Servicerobotern zugrunde liegt, dürften die Grenzen zwischen Industrie- und Servicerobotik zunehmend verwischen.
Eine gegenüberstellende Übersicht der gegenwärtigen Branchen und Anwendungsfelder von Industrie- und Servicerobotern wird in Abbildung 1 gegeben.

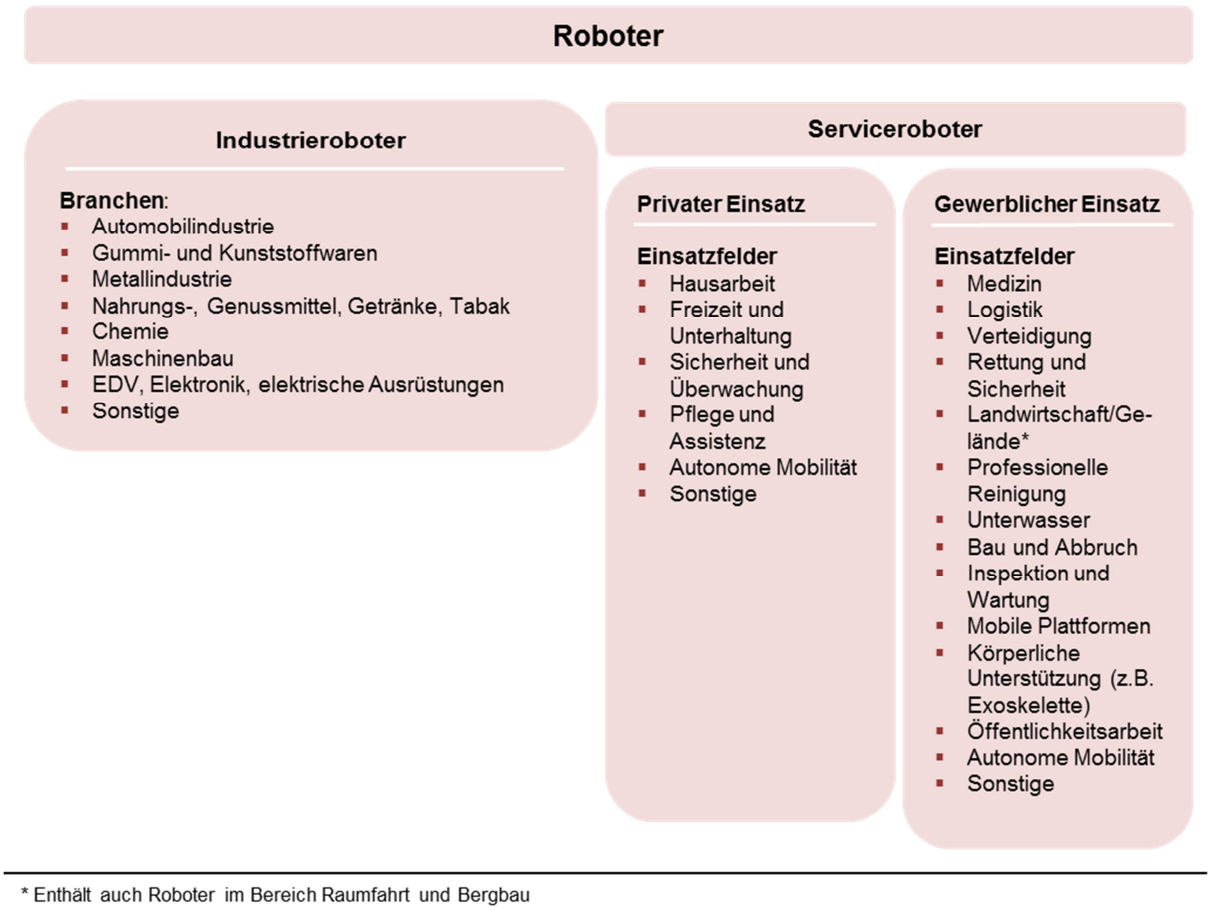


Abbildung 1: Branchen und Anwendungsfelder von Industrie- und Servicerobotern. (Abbildung angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016)).

Der Einsatz von Industrierobotik hat von 2011 bis 2014 kontinuierlich zugenommen, so dass in dieser Periode ein Wachstum des Bestandes von ca. 6,9 % zu verzeichnen war (Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) 2016). Als oberstes Ziel gilt es die Flexibilität und die Effizienz der Fertigung zu verbessern. Die Kosten für eine Arbeitsstunde liegen bereits heute für einige Industrieroboter bei unter einem US$. Werden die Anwenderbranchen für Industrieroboter genauer betrachtet, zeigt sich, dass in Deutschland der Fahrzeugbau, die Gummi- und Kunststoffwarenindustrie, sowie die Metallindustrie zu den wichtigsten Akteuren zählen (Abbildung 2).

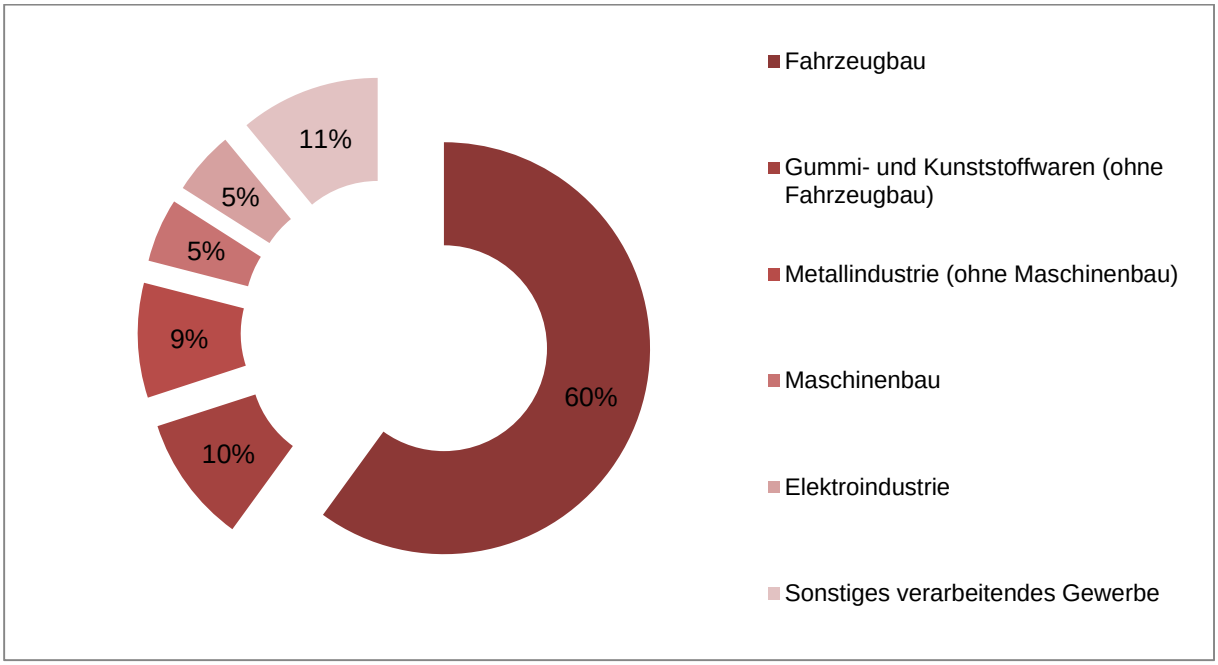


Abbildung 2: Verteilung der Industrieroboterbestände in Deutschland auf die wichtigsten Branchen – 2014. (Angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016)).

Eine dezidierte Auflösung der Anwenderbetrachtung für Serviceroboter ist für Deutschland bisher nicht bekannt. Wird die Entwicklung der verkauften Robotereinheiten und der globale Umsatz betrachtet, wird deutlich, dass die Servicerobotik in absehbarer Zeit stark an Bedeutung gewinnen wird (Abbildung 3 und Abbildung 4). Bereits 2014 wurden mehr Serviceroboter verkauft als industrielle Roboter (Abbildung 3). Aufgrund der hohen Anschaffungskosten der Industrieroboter ist der globale Umsatz, der mit ihrem Verkauf erwirtschaftet wird, im Jahr 2014 jedoch größer als für Serviceroboter (Abbildung 4).

Prognosen zufolge könnte die Servicerobotik in absehbarer Zeit (zwischen 2020 und 2025) die Industrierobotik in ihrer Bedeutung übersteigen (Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) 2016). Die wichtigsten Anwendungsfelder der zukünftigen Servicerobotik werden die privaten Haushalte (Systeme zur Unterstützung im Haushalt und zur Unterhaltung), die Medizin, die Landwirtschaft, die Verteidigung und die Logistik sein. Auch die Autoindustrie mischt bereits auf dem Markt für Servicerobotik mit. So wurde erst kürzlich im Juli 2016 bei Ford in Köln eine Produktionsstraße mit kollaborativ arbeitenden Robotern des Unternehmens KUKA ausgestattet (Pittman 2016). Dieses Beispiel zeigt außerdem das Vordringen der Servicerobotik auf einen Markt der klassischerweise von der Industrierobotik dominiert wird bzw. auf einen Markt, in dem die Industrierobotik in den 1970er und 1980er Jahren geboren wurde (Heßler 2014). Das Beispiel von Ford steht darüber hinaus im Widerspruch zu einem ausschließlichen Einsatz der Servicerobotik außerhalb von vollautomatisierten industriellen Produktionsstraßen. Eine weitere Vermischung von Industrie- und Servicerobotik in den nächsten Jahren ist folglich zu erwarten.

Dabei wird mit der Servicerobotik nicht die Absicht verfolgt, die Industrierobotik zu verdrängen oder abzulösen, sondern als eigenständigen Industriezweig neben ihr zu etablieren oder mit ihr zu verweben. Ohnehin sind beide Bereiche immer schwerer voneinander abgrenzbar. Anbieter von Servicerobotern setzen verstärkt, neben dem Streben nach Kosteneinsparungen, auch auf neue Geschäftsmodelle, bei denen nicht der Roboter an sich das Geld verdient bzw. einspart (ein verbreitetes Konzept in der Industrierobotik) sondern neue rentable Serviceleistungen entstehen und angeboten werden, beispielsweise über kostenpflichtige Updates wie bereits in App-Stores praktiziert wird. Oft ist auch ein wichtiges Ziel, die Qualität zu verbessern oder den Werker zu entlasten bzw. Anwendungen zu er-

schließen, die vom Menschen nicht durchführbar sind. Serviceroboter können Daten in ihrer eingesetzten Umgebung sammeln und deren Auswertung in neue Dienstleistungen integriert werden. Dies ermöglicht es den Herstellern von Servicerobotern ihre Systeme unterhalb der Herstellungskosten anzubieten und sorgt für einen wachsenden Umsatz. Interessant hierbei ist der Ansatz *Robot-As-A-Service*, analog zu *Everything-As-A-Service*, bei dem eine Dienstleistung und nicht das technische System verkauft wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Industrie- sowie die Servicerobotik in den kommenden Jahren ein starkes wirtschaftliches Wachstum bevorsteht, wobei auch in Deutschland neue Geschäftsmodelle und Märkte, vor allem im Bereich der Servicerobotik besetzt werden können. Die zielorientierte Ausrichtung von Forschung und Entwicklung sowie die Unterstützung von Neugründungen sollte dabei auch in einem regionalen Kontext vorangetrieben werden, um das wirtschaftliche und technologische Wachstum zu fördern und auszubauen.

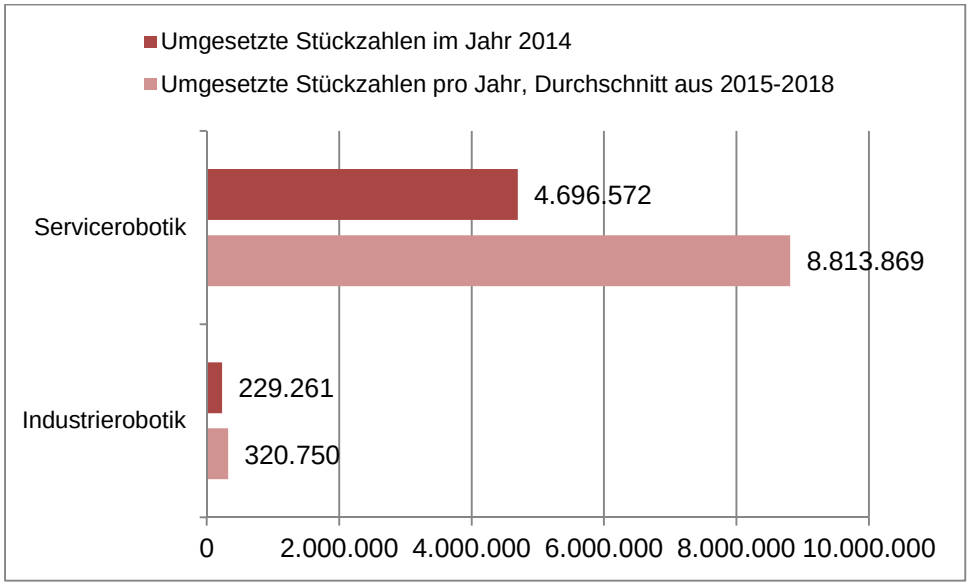


Abbildung 3: Global verkaufte Stückzahlen von Service- und Industrierobotern. (Angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016)). Die hohen Stückzahlen bei der Servicerobotik resultieren aus der Berücksichtigung auch einfacher robotischer Geräte wie beispielsweise Staubsaug- oder Rasenmähroboter.

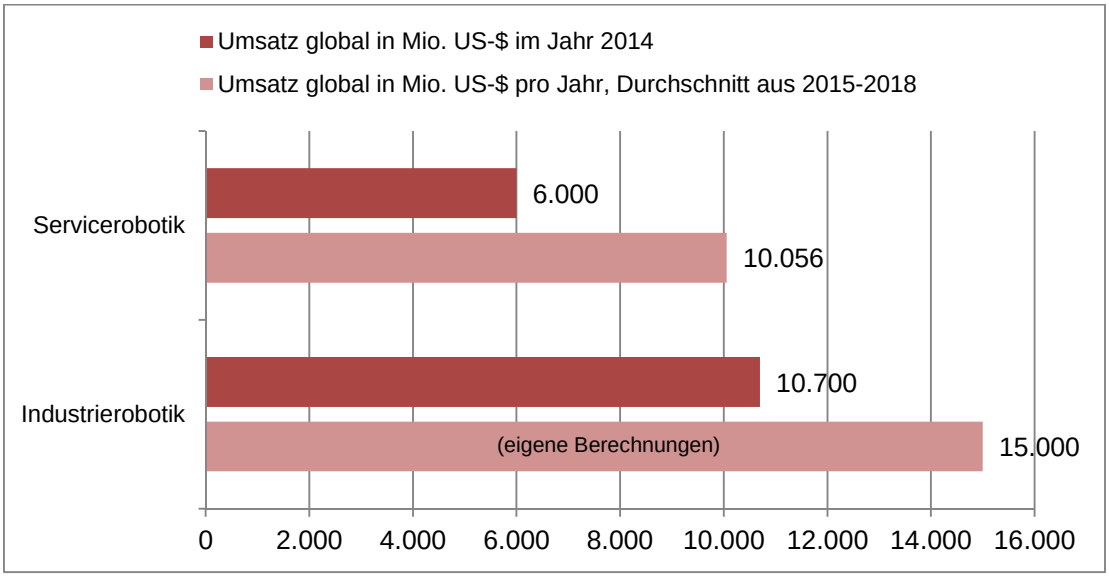


Abbildung 4: Globaler Umsatz, der durch den Verkauf von Service- und Industrierobotern erwirtschaftet wurde. (Angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016) sowie eigene Berechnungen). Trotz der kleineren Stückzahl bleibt die Industrierobotik die umsatzstärkere Teilbranche.

# 3 Grundlagen adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme

Robotische Systeme sind bereits seit rund 30 Jahren ein Kernelement der Produktion und erobern gerade im Servicebereich immer neue Anwendungen. Am Anfang dieses Prozesses stand die Automatisierung monotoner, wiederkehrender und körperlich anstrengender Arbeitsaufgaben. Mit zunehmender „Intelligenz“ werden das Aufgabenspektrum für robotische Systeme und ihr Grad an Autonomie immer vielfältiger. Der Prozess einer fortschreitenden Automatisierung kann in einem stufenweisen Prozess der Aufgaben- und Verantwortungsübertragung vom Menschen an ein technisches System beschrieben werden. In der Konsequenz führt diese Logik zu einem vollständigen Ersatz menschlichen Handels. Tabelle 1 fasst diese grundlegende Taxonomie der Automatisierung zusammen. Eine derartige „harte“ Automatisierung findet sich nicht nur in industriellen Rationalisierungsszenarien, sondern auch in der Entwicklung vollautonomer Roboter, die beispielsweise weitgehend unabhängig vom menschlichen Einwirken lebensfeindliche Umgebungen (Tiefsee, Marsoberfläche) erkunden. Dabei ist diesen Systemen gemein, dass im Regelfall der Mensch eingreifen und die autonom getroffenen Handlungspfade übersteuern kann. Dies gilt aktuell auch für die Entwicklung von teilautonomen Fahrzeugen, die – auch und insbesondere aus rechtlichen Gründen (verfasst im Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr) – das Eingreifen des Fahrers jederzeit zulassen müssen. Eine solche Eingriffsmöglichkeit des Menschen entspricht explizit in etwa der Automatisierungsstufe 6 in Tabelle 1.

| Automatisierungsstufe | Systemmerkmale |
|---|---|
| 1 | Der Computer bietet keine Unterstützung an, der Mensch muss alles machen. |
| 2 | Der Computer schlägt eine vollständige Menge von Handlungsalternativen vor und |
| 3 | schränkt die Auswahl auf einige wenige ein, |
| 4 | schlägt eine Alternative vor, |
| 5 | führt den Vorschlag aus, wenn der Mensch ihn bestätigt, oder |
| 6 | erlaubt dem Menschen eine begrenzte Zeit, ein Veto einzulegen, um eine automatische Ausführung zu verhindern, |
| 7 | führt automatisch aus und informiert den Menschen, |
| 8 | informiert ihn über die Ausführung nur wenn er anfragt, und |
| 9 | informiert ihn über die Ausführung nur wenn der Computer dies entscheidet. |
| 10 | Der Computer entscheidet alles und handelt autonom, ignoriert den Menschen. |

Tabelle 1: Automatisierungsstufen nach (Sheridan und Verplank 1978), zitiert nach (Hauß und Timpe 2002).

In Ergänzung zu der „harten“ und tatsächlich vollautonomen Automatisierung hat sich in den letzten Jahren eine „weiche“ Form der Automatisierung herausgebildet, die sich insbesondere im Prinzip einer Kooperation zwischen Mensch und Technik ausdrückt (acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. 2016). Bei dieser Automatisierung steht nicht mehr eine Erhöhung der Taktzahl im klassisch industriellen (tayloristischen) Sinne im Vordergrund, sondern eine Aufwertung technisch vermittelter Funktionen und Fähigkeiten hin zu adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen. Eine solche kooperative Automatisierung, wie sie auch für die Umsetzung in der Industrie 4.0 skizziert wird, hat eine unmittelbare, auf Interaktion, Flexibilität und Adaptivität beruhende Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine zum Inhalt; tatsächlich scheint es auf den ersten Blick, als würde diese Autonomie von den in Tabelle 1 genannten Automatisierungsstufen kaum erfasst/wiedergegeben. Da Sheridan und Verplank ihre Kategorisierung jedoch am Beispiel von Tauchrobotern entwickelt haben, haben auch sie Automatisierung in hohem Maße mit Autonomie gleichgesetzt, indem Computer die

Steuerung in einer unterseeischen Welt übernehmen. Mit fortschreitender Autonomie steigt die Fähigkeit des technischen Systems, auch in unbekannten Situationen eigenständig zur Lösung einer Aufgabe beizutragen. Dies kann sowohl das Reagieren eines Tauchroboters auf unverhofft auftauchende Hindernisse und Strömungen sein, als auch das Eingehen auf Menschen als Teil einer sich rasch und weitgehend ändernden Umwelt. Ähnlich wie bei der Automatisierung kann der Grad der Autonomie eines technischen Systems anhand qualitativer Stufen und Fähigkeitskategorien beschrieben werden. Die folgende Tabelle 2 fasst die Autonomiekategorien gemäß den Automatisierungsstufen technologieneutral zusammen.

| | |
|---|---|
| Beschränkt autonome Systeme | ▪ Eigenständig agierende Systeme in eng definierten Umgebungen mit geringer Variabilität und Komplexität der Parameter, daher nur aufgabenspezifische Sensorik.<br>▪ Handlungsautonomie gemäß fester Regeln.<br>▪ Keine Mobilität oder aber auf der Basis fester baulicher Vorgaben. |
| Teilautonome Systeme | ▪ Eigenständig agierende Systeme in sich beschränkt ändernden Umgebungen mit mittlerer Variabilität und Komplexität der Parameter; Integration unterschiedlicher Informationen aus unterschiedlichen Quellen (Sensoren).<br>▪ Handlungsautonomie auf der Grundlage von Regeln unter Verarbeitung von variierenden Parametern.<br>▪ Adaptivität und Flexibilität.<br>▪ Eigenständige Mobilität innerhalb eines vorgegebenen Rahmens. |
| Vollautonome Systeme | ▪ Eigenständig agierende Systeme in unbekannten und sich ändernden Umgebungen.<br>▪ Hohes Maß an Variabilität und Komplexität von zum Teil unbekannten Parametern, daher umfassende Sensorik und Datenfusion.<br>▪ Handlungsautonomie anhand eines „Weltmodells", das nur die Aufgabe, nicht aber deren Lösungsweg vorgibt.<br>▪ Lernfähigkeit und Fähigkeit zur Abschätzung unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten (Ergebnisantizipation).<br>▪ Freie Mobilität und energetische Unabhängigkeit (temporär oder dauerhaft).<br>▪ „Self-X" (Selbstorganisation, Selbstdiagnose & Selbstheilung, Selbstverortung etc.) |

Tabelle 2: Kategorisierung autonomer technischer Systeme, aus denen sich eine zunehmende Aufgabenkomplexität und Interaktion mit dem Menschen ableitet (Quelle: Botthof und Bovenschulte 2011).

Die Darstellung deutet bereits an, dass die Fähigkeit zur fortschreitenden Autonomie unmittelbar darauf beruht, dass das technische System sowohl seinen Arbeitsauftrag kennt, als auch seine Umwelt wahrnehmen und verstehen kann. Dies bedeutet, dass bei gleichbleibender Zielsetzung der Aufgabe von dem autonomen System unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von den jeweiligen Umweltbedingungen ausgeführt werden können – der interagierende Mensch ist expliziter Bestandteil dieser Umwelt. Das autonome System muss daher gleichsam über ein „Weltmodell" verfü-

gen, das als handlungsleitendes Konzept implementiert ist. Dabei ist der beständige Abgleich vorgegebener, „fest verdrahteter“ Teile des Weltmodells mit unmittelbaren Informationen aus der Umwelt essenziell. Das Weltmodell stützt sich auf unterschiedliche Wissensbasen, die ein episodisches Gedächtnis, ein Diskursgedächtnis, ein Plangedächtnis und Modellbibliotheken (zu Domänen-, Aufgaben-, Kollaborations- und Benutzermodellen) umfassen (Wahlster 2016; Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum/acatech 2016). Darauf aufbauend ergibt sich eine Referenzarchitektur für autonom-adaptive Systeme und deren technische „Intelligenz“ (Abbildung 5).

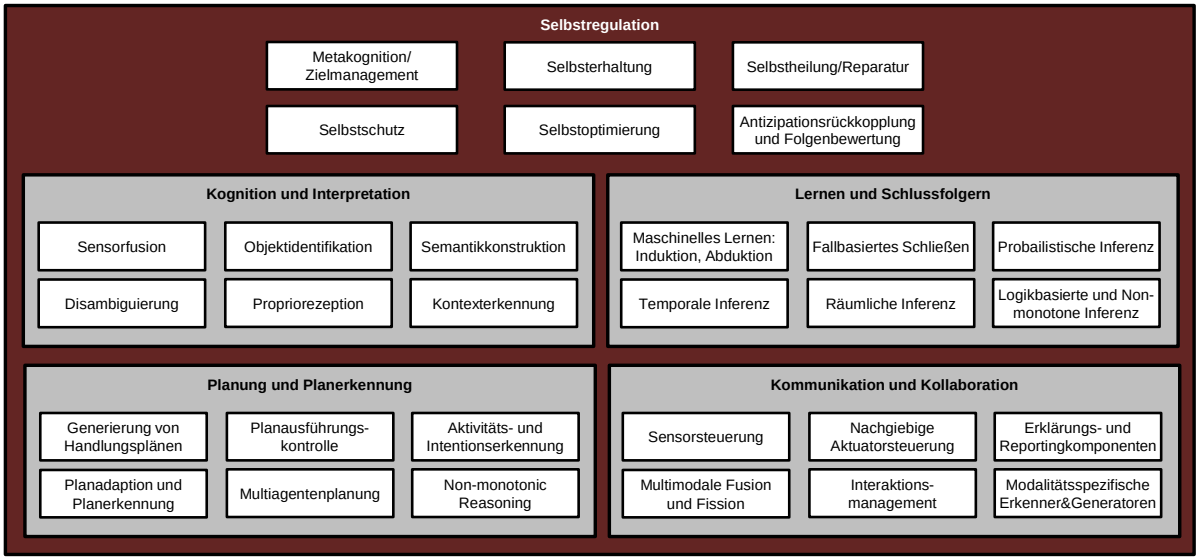


Abbildung 5: Referenzarchitektur autonom-adaptiver Systeme. Die Architektur fokussiert primär auf Fragen der „Intelligenz“ technischer Systeme und die damit verbundenen Domänen Selbstregulation, Kognition und Interpretation, Lernen und Schlussfolgern, Planung und Planerkennung sowie Kommunikation und Kollaboration. In den Sub-Domänen werden diese Anforderungen weiter aufgeschlüsselt (Quelle: iit 2016 in Anlehnung an Wahlster 2016).

Mit Blick auf die künstliche Intelligenz eines autonomen Systems ist es nicht verwunderlich, dass der Software eine maßgebliche Bedeutung zukommt. In den Domänen „Kognition und Interpretation“, „Lernen und Schlussfolgern“, „Planung und Planerkennung“ sowie „Kommunikation und Kollaboration“ drückt sich das Anforderungsprofil sowohl der Autonomie als auch der Adaptivität/Flexibilität aus. Die Domäne der „Selbstregulation“ – entspricht dem Merkmal „Self-X“ in Tabelle 2 – beruht ebenfalls zentral auf Software- bzw. IKT-basierten Technologien und beschreibt gleichsam die Fähigkeit, übergeordnete Schlussfolgerungen für den eigenen *Status quo* zu ziehen sowie das generelle Vermögen, eine Aufgabenlösung zu „reflektieren“. Da die künstliche Intelligenz ganz maßgeblich auf einer Rückkopplung mit der Umwelt beruht – nur so kann tatsächlich eine Adaptivität erreicht werden – kommt der Integration der Sensorik und der Datenprozessierung in die Referenzarchitektur eine bedeutende Rolle zu. Angesichts der Datenmengen, die in Echtzeit von Multisensorsystemen erfasst werden, ist es sinnvoll, bereits auf Ebene des Sensors eine Signalverarbeitung und damit -reduktion vorzunehmen (Heinrich et al. 2016). Ähnlich der Netzhaut im Wirbeltierauge, die entwicklungsgeschichtlich eine Ausstülpung des Vorhirns ist und nicht nur an der Signalaufnahme sondern auch an der Signalverarbeitung umfassend beteiligt ist (z. B. Kontrastverstärkung durch laterale Hemmung), bieten auch intelligente Sensoren – etwa durch Kombination mit einem digitalen Signalprozessor – eine derartige Verarbeitungsmöglichkeit. Mit Hilfe der Sensoren und einer Signalverarbeitung wird ein Teil der künstlichen Intelligenz bereits peripher realisiert und somit im System dezentralisiert. Bei bestimmten Funktionen ist es sogar denkbar, dass die Signalverarbeitung und daraus folgende Handlungen analog zum neuronalen Reflex unter Umgehung der zentralen künstlichen Intelligenz erfolgen. Die Interaktion mit der Umwelt im Allgemeinen und mit Menschen im Speziellen kann beispielsweise über einen Greifarm, der mit taktilen Sensoren versehen ist, erfolgen. Im Zusammenspiel zwischen zentraler und peripherer Intelligenz wäre demnach die zentrale Intelligenz für die planvolle Ausführung von Aufgaben, das Erkennen der Interaktion und die Anpassung an den individuellen menschlichen Partner zustän-

dig. Die periphere Intelligenz hingegen bietet beispielsweise die Möglichkeit, beim Auftreffen auf ein Hindernis sofort stehenzubleiben und somit den geplanten Bewegungsablauf zu unterbrechen.

Eine solche Fähigkeit ist neben den Sensoren auch von weiteren Hardware-Komponenten, den „embedded systems“ abhängig. Abbildung 6 stellt die Referenzarchitektur für die künstliche Intelligenz aus Abbildung 5 in eine weiter gefasste Technologiekategorisierung, in der auch die mechanische und apparative Basis von robotischen und ambienten Systemen berücksichtigt wird. Diese umfasst die gesamte Aktorik (Greifarme, Werkzeuge) und den mechanischen Grundaufbau (inkl. Fortbewegung, Energieversorgung etc.).

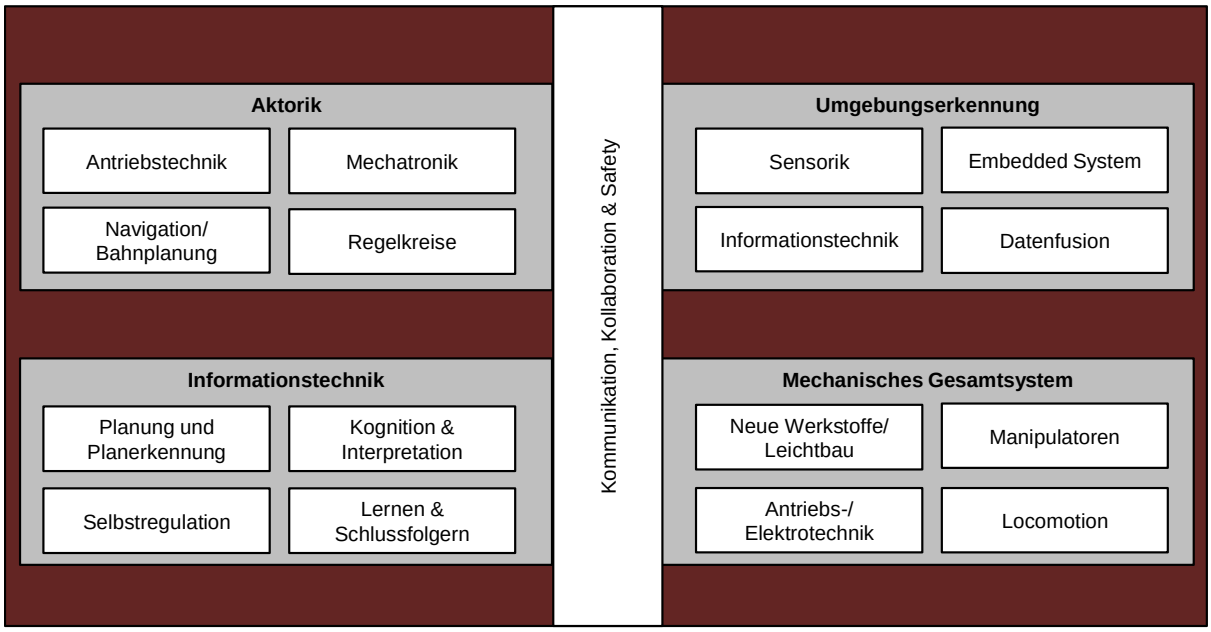


Abbildung 6: Exemplarische Kategorisierung der für autonome Systeme grundlegend nötigen technologischen Komponenten unter Rückgriff auf die in Abbildung 5 dargestellte Referenzarchitektur (Quelle iit 2016).

Die Kategorisierung umfasst ein breites wissenschaftlich-technisches Portfolio, um die vielfältigen Leistungsansprüche von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen zu ermöglichen. Allein die Sensorik umfasst aufgrund der Vielzahl möglicher Signalquellen (Licht – inkl. IR, UV – und daraus abgeleitet komplexe Muster auch im dreidimensionalen Raum, Schall, Druck, Temperatur, bestimmte Substanzen, Feuchtigkeit etc.) ein umfassendes technisches Spektrum, das durch spezifische Kombinationen die „Treffsicherheit“ des Systems erhöht.
Folglich finden sich in den beiden großen aber stets eng miteinander verbundenen Domänen „Software“ und „Hardware“ zahlreiche Anknüpfungspunkte für Wissenschaft und Industrie. Als Systemtechnologie ist die Entwicklung von autonomen Systemen ursächlich auf die interdisziplinäre Zusammenarbeit angewiesen, die bis weit in die Neurowissenschaften hineinreicht. Tabelle 3 gibt einen Überblick über technisch vermittelte Fähigkeiten, die dafür notwendigen Komponenten und die hierfür maßgeblichen Disziplinen. Damit jedoch ein System entsteht, dass im Hinblick auf Autonomie und adaptiv-kollaborative Fähigkeiten hoch entwickelt ist, muss eine Integrationsleistung erbracht werden, die über das bloße Zusammenstellen auf Grundlage eines „Baukastens“ hinausgeht. Die Systemintegration beruht daher zu ganz wesentlichen Teilen auf einer umfassenden Modellbildung, nach dem sich die Funktionalität des robotischen Systems ergibt. Nur auf diese Weise lässt sich das synergetische Potenzial komplexer „intelligenter“ Systeme technisch nutzen (vgl. das „Weltmodell“ vollautonomer Systeme in Tabelle 2).
Viele der hier genannten Komponenten und wissenschaftlich-technischen Fähigkeiten haben deutliche Berührungspunkte mit anderen Sektoren und Technologiefeldern. So ist Deutschland durch die vielfältigen Steuerungs- und Assistenzsysteme im Kontext Automotive (Hard- und Software) ausgesprochen

wettbewerbsfähig und verfügt über einen umfassenden „Baukasten“ an Lösungen für neue Anwendungsgebiete auch in der Robotik. Ebenso bieten Felder wie die Sensorik und die Bilderkennung/-verarbeitung – auch hier durch die Kombination aus Hardware und Software, etwa für die Mustererkennung mittels Fuzzy Logik, vielfältige Transfermöglichkeiten. Die erfolgreiche Nutzung dieses Potenzials ist insbesondere von der Existenz eines Systemintegrators abhängig, der nicht zwangsläufig ein etablierter Akteur sein muss, sondern auch als Start-up den nötigen Kristallisationsnukleus bieten kann.

| Fähigkeit/Teilsystem | Komponente | Technologie- / Wissensgebiete |
|---|---|---|
| Umgebungserkennung (= Sensorik + Embedded System + Bildverarbeitung + Wissensbasis + Kommunikation) | Sensorik (= MOEMS + Mechatronik + Neue Materialien)<br>▪ Bildgebende Konzepte (z. B. Farbe, IR, 3D)<br>▪ Scannende Konzepte (z. B. Radar, Laserscanner)<br>▪ Temperatur (z. B. Pt 100, Pyrometer, Thermographie)<br>▪ Kräfte und Momente (z. B. piezoelektrisch, resistive DMS) | MOEMS |
| Aktorik | Antriebe (=Antriebstechnik/Elektrotechnik + Mechatronik + Steuerungs-/Regelungstechnik)<br>▪ „klassische“ E-Motoren (z. B. Wanderfeld-M., Kommutator-M.)<br>▪ pneumatisch)<br>▪ Hydraulische Antriebe (z. B. Hydrostat)<br>▪ Schrittmotoren<br>▪ Linearantriebe (elektrisch, hydraulisch) | Antriebstechnik/ Elektrotechnik |
| Mechanisches Gesamtsystem<br>▪ Mechanische Komponenten<br>▪ Handling<br>▪ Locomotion | Mechanische Komponenten (= Konstruktion/Leicht + Neue Werkstoffe)<br>▪ Mehr-Gelenk-Systeme<br>▪ Dämpfungselemente (z. B. Ölstoßdämpfer)<br>▪ Elastische Baugruppen (z. B. Reifen, Federn, Silent-Block)<br>▪ Neue Materialien / Composite (z. B. CfK, GfK, Tailored blanks)<br>▪ Leichtbau (Material-L.; konstruktiver L.)<br>▪ Smart Materials | Konstruktion/ Leichtbau Mechatronik Material-wissenschaften |
| | Handling (mechanische Bewegung ohne Ortsveränderung) (= Antrieb + Mechanik + embedded system + Kommunikation)<br>▪ Roboterarm<br>▪ Tripod/Hexapod<br>▪ „weiche“/bionische Greifzeuge | |
| | Chassis (= Konstruktion/Leichtbau + Neue Werkstoffe)<br>▪ Fahrwerksintegration („Rückgrat des Roboters“)<br>▪ Mechanische Schnittstellen (Übertragung von Kräften und Momenten; Schnittstellen für wechselnde Module) | |
| | Locomotion (= Antrieb + Mechanik + embedded system)<br>▪ Fahrwerke Land (z. B. Räder, Ketten, Mecanum-Rad)<br>▪ See (z. B. Ruder, Propeller, Z-Drive)<br>▪ Schreitsysteme<br>▪ Luftfahrt (z. B. Quadrocopter, autonome Fluggeräte) | |
| Informationstechnik | Embedded Systems (z. B. dezentrale Steuerungs- bzw. Regelungskomponenten, Sensoriksignalverarbeitung) (= Hardware + Software)<br>▪ Hardware | (Mikro-) Elektronik Hardware / Software |

| Fähigkeit/Teilsystem | Komponente | Technologie- / Wissensgebiete |
|---|---|---|
| | ▪ Firmware<br>▪ aufgabenbezogene Software (z. B. Signalverarbeitung, Kommunikation, Bildanalyse) | |
| | Navigation (Bahnplanung) (=Umgebungserkennung + Ziel + Wissensbasis, sowohl für Handling als auch für Ortveränderung)<br>▪ für Aktorik<br>▪ für Fahrwerk<br>▪ Telematik | |
| | Zentrale Steuereinheit des Roboters (SCADA)<br>▪ Künstliche Intelligenz (Modellbildung)<br>▪ Balance zentrale/dezentrale Signalverarbeitung<br>▪ Verknüpfung mit anderen digitalen Akteuren | |
| | Digitale Kommunikation (=Hardware + Software)<br>▪ Hardware<br>▪ drahtlos (z. B. WLAN, Bluetooth)<br>▪ drahtgebunden (z. B. TCP/IP, ProfiBus, Feldbus)<br>▪ non-verbal (= Hardware + Signalverarbeitung + Wissensbasis + Bilderkennung/Spracherkennung) | Steuerungs-/ Regelungstechnik |
| Energieversorgung (= Energiegewinnung + Energiespeicherung + embedded system) | Energiespeicherung (Konstruktion + Materialwissenschaften + Batterietechnik/Elektrochemie)<br>▪ Batterien (z. B. NiCd, Li-Ion, NiMH)<br>▪ Supercaps<br>▪ Chemisch (z. B. Kraftstoffe, CNG, LPG, H2) | Batterietechnik/ Elektrochemie |
| | Energiegewinnung (= Hardware + Mechatronik + Neue Materialien)<br>▪ Solarzelle<br>▪ Brennstoffzelle<br>▪ drahtloses induktives Laden | |

Tabelle 3: Aufschlüsselung zentraler Technologien für die in Abbildung 6 dargestellte Kategorisierung der Fähigkeiten autonomer Systeme (Quelle: M. Künzel, iit 2016). Über diese technischen Wissensgebiete hinaus sind im Kontext Roboter/autonome Systeme u.a. noch Kongnitionswissenschaften, Rechtswissenschaften („Robotikrecht“) und Arbeitswissenschaften relevant.

**Robotik und ambiente Technologien**

Deutschland verfügt in hoher Übereinstimmung mit seinen wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Stärken auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik über eine in Europa führende und auch weltweit wettbewerbsstarke FuE-Position im Bereich der Industrierobotik. Wenngleich sich in der Industrierobotik ähnliche Herausforderungen ergeben wie beispielsweise in der Pflegerobotik (der Industrieroboter verlässt seinen „Käfig“ und rückt näher an den Menschen heran, um mit ihm Hand in Hand zu arbeiten) und deshalb von einem gewissen Know-how-Transfer zwischen Industrie- und Servicerobotik auszugehen wäre, lässt sich in Deutschland kein FuE-Trend zur häuslichen (Service-/ Pflege-) Robotik auf japanischem Niveau beobachten. Dies bedeutet keineswegs, dass nicht auch in diesem Bereich in Deutschland geforscht würde. Der maßgeblich vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung entwickelte Care-o-Bot (mittlerweile in der 4. Generation) markiert dabei den „State of the art“ in Deutschland, wobei sich mit Systemen wie dem federführend von MetraLabs entwickelten Robotischen Reha-Assistenten ROREAS (Technische Universität Illmenau 2013) das Spektrum deutlich erweitert hat. Und jüngst hat die Ankündigung einer (teilweisen) Übernahme des Augsburger Industrieroboterherstellers KUKA durch den chinesischen Elektrokonzern Midea die Vermutung genährt, dass KUKA damit nicht nur einen besseren Zugang zum chinesischen Markt erhält, sondern insbesondere auch das Angebotsportfolio Richtung Service-Roboter ausbauen könnte (Hegmann 2016).

Unabhängig vom Anwendungsfeld und ganz im Sinne einer direkten Interaktion und Kollaboration zwischen Mensch und technischem System beschreibt die individuelle Unterstützung des Einzelnen das maßgebliche Paradigma adaptiver autonomer Systeme. Allerdings liegt die Vermutung nahe, dass Deutschland trotz der beschrieben Dynamik mit hoher Wahrscheinlichkeit im Bereich autonome Service- und Pflegeroboter absehbar nicht zu Japan aufschließen wird: Im Wesentlichen dürfte das daran liegen, dass es in Deutschland keine großen Marktakteure wie Honda oder Toshiba gibt, die Service-Roboter für den Alltag oder auch für Heimanwender entwickeln und dabei von ihren Stärken im Bereich Consumer Produkte oder andrer Hochtechnologieprodukte für Endverbraucher profitieren können. Des Weiteren wurde in der deutschen Forschungspolitik mit der Stärkung der ambienten Technologien (zwischenzeitlich) ein abweichender Forschungspfad eingeschlagen:

Anfang der Jahrtausendwende wurde unter dem wachsenden Eindruck des demografischen Wandels in der deutschen Forschungspolitik die Frage gestellt, welchen Beitrag die Schlüsseltechnologien für eine alternde Gesellschaft leisten können. Ausgehend von der Mikrosystemtechnik, die das Erfassen der Umwelt (= Sensoren), das Verarbeiten von Informationen (= Prozessoren) und das darauf beruhende Ausführen von Aktionen (= Aktuatoren) integriert, entstand ein komplementärer Entwurf zum (Service-) Roboter: Anstatt alle Funktionen in einer mobilen und weitgehend autarken Zentraleinheit zusammenzufassen, beschreibt die Vision des AAL (Ambient Assisted Living) die Integration von Unterstützungsfunktionen in Alltagsgegenstände und somit in die Umwelt; die jeweiligen technischen (und hochintegrierten) Komponenten kommunizieren dabei miteinander in einer digitalen Infrastruktur (Internet, verschiedene Bussysteme). Wenn hierbei von „Umwelt“ die Rede ist, sind damit im Regelfall bauliche Strukturen wie Wohnungen/Gebäude oder auch Verkehrsinfrastrukturen etc. gemeint. AAL hat damit unweigerlich Überschneidungen zu Themen wie Hausautomation/Domotik und „Smart Home“ (Strese et al. 2010).

Tatsächlich kommt in dem Konzept des AAL die besondere wissenschaftlich-technische und auch industrielle Stärke Deutschlands zum Ausdruck. So ist Deutschland eine der führenden Maschinenbaunationen. In diesem Sektor spielt die Automatisierungstechnik eine zentrale Rolle, die wiederum von Systemtechnologien wie der Mikrosystemtechnik abhängt. Komplementär dazu verfügt Deutschland zwar mit Blick auf PCs und „Endnutzer-Software“ kaum über maßgebliche und international bedeutende Unternehmen (Ausnahmen sind beispielsweise SAP und die Software AG), wohl aber im

Bereich „Embedded Systems“, also jene Steuereinheiten, die auch in einfachen technischen Geräten für die benötigte Fähigkeit zur Verarbeitung von Daten und somit für deren Systemfähigkeit sorgen. Mittlerweile wurde das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung umfassend geförderte AAL zum Förderschwerpunkt „Mensch-Technik-Interaktion – MTI“ mit Bezug zum demografischen Wandel weiterentwickelt. Im Vordergrund der Förderung standen auch hier technische Unterstützungssysteme für unterschiedliche Anwendungsfelder im demografischen Wandel (u. a. Arbeit, Mobilität, Pflege, Intensiv- und Palliativpflege) (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2015). Auf der entsprechenden Internet-Seite heißt es dazu:

> „Technische Systeme entwickeln sich zunehmend von rein passiven Instrumenten zu aktiven Partnern, die den Menschen unterstützen, indem sie Tätigkeiten bis zu einem gewissen Grad eigenständig und nahe am Menschen verrichten. Dadurch ändert sich auch das Verhältnis von Mensch und Technik: Es wird immer interaktiver. Der Förderschwerpunkt ‚Mensch-Technik-Interaktion‘ adressiert diese neuartigen Technologien in einem interdisziplinären Forschungs- und Handlungsansatz. Im Mittelpunkt stehen technische Innovationen, die in Kombination mit sozialen Innovationen auf die besonderen Herausforderungen antworten, die mit einer Gesellschaft im demografischen Wandel einhergehen.“ (http://www.mtidw.de/)

In der jüngeren Vergangenheit hat das Thema Robotik auch im Kontext der Mensch-Technik-Interaktion erkennbar an Bedeutung gewonnen. So wurde im April 2016 die Bekanntmachung „Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten“ veröffentlicht, die folgende Zielsetzung verfolgt:

> „Innerhalb dieser digitalen Transformation gilt die Robotik als ein Schlüsselfaktor, für den deutsche Unternehmen seit Jahrzenten eine hohe Kompetenz besitzen. Bei der Ausweitung der Robotik auf nicht-industrielle Anwendungen soll die bestehende Technologieführerschaft deutscher Unternehmen erhalten und weiter ausgebaut werden. Besondere Herausforderungen zeichnen sich dabei in menschennahen Anwendungsgebieten ab, zu denen das Gesundheitswesen oder der Dienstleistungsbereich gehören. Speziell vor dem Hintergrund aktueller demografischer Entwicklungen sollen Robotersysteme kognitive Fähigkeiten und physische Tätigkeiten sowie soziale Interaktion unterstützen und damit zur Stärkung eines aktiven und selbstbestimmten Lebens beitragen“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2016).

Ähnlich wie der Mensch in variablen Situationen unter wechselnden Bedingungen sinnvoll agieren kann, ist auch eine Zukunft denkbar, in der ein und dasselbe Robotersystem in unterschiedlichen Kontexten einsetzbar ist. Dabei handelt es sich jedoch um eine langfristige Technik- bzw. Anwendungsvision. Der aktuelle Stand der Entwicklung versatiler Roboter, die sinnvoll in einer komplexen Umwelt agieren, ist trotz großer technischer Fortschritte in der Summe noch vergleichsweise bescheiden und anwendungsfern. Deutlich wurde dies zum Beispiel im Rahmen der „DARPA Robotics Challenge“ im Jahr 2015, in der humanoide und meist nur teilautonome (und somit ferngelenkte) Roboter mehrfach einfach umfielen, nicht in der Lage waren, mit dem dafür vorgesehen Knauf eine Tür zu öffnen etc. Auch die Objekterkennung mittels Sensoren stieß an ihre Grenzen: „Bei den unterschiedlichen Lichtverhältnissen im Freien waren die Sensoren der Roboter nicht imstande, Formen verlässlich zu erkennen. Außerdem fehlt den Roboterhänden oder Greifern das Fingerspitzengefühl von menschlichen Fingern“ (Knight 2015, S. 10).

# 4 Wissenschaftliche Potenziale

## 4.1 Robotik in der Wissenschaftslandschaft Hannovers

Die in Kapitel 3 beschriebenen Systemmerkmale autonomer Systeme, ihre damit verbundenen Fähigkeiten und Teilsysteme, Komponenten sowie die dafür notwendigen wissenschaftlich-technischen Kompetenzen sind in der Region Hannover exemplarisch in dem im Jahr 2000 gegründeten Mechatronik-Zentrum Hannover – MZH der Leibniz Universität zusammengeführt (Abbildung 7).

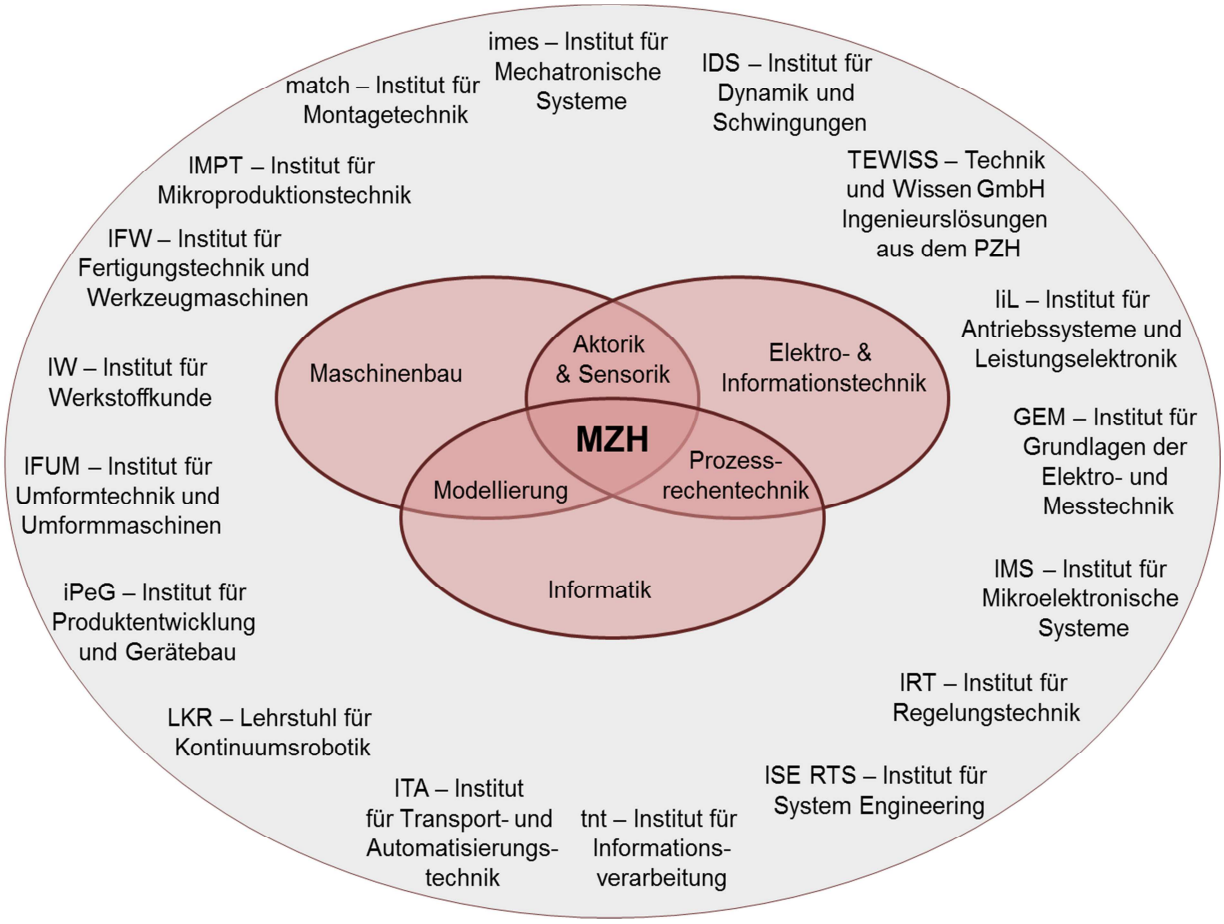


Abbildung 7: Organisation des Mechatronik-Zentrums Hannover gemäß der 16 beteiligten Einzelinstitute (zzgl. der TEWISS GmbH) und der von ihnen repräsentierten fachlichen Expertise (Nach: (Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover 2016b)).

Die vom MZH verfolgte Vision entspricht sehr weitgehend derjenigen von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen; es geht um die „Schaffung autarker Systeme, d. h. quasi ‚fühlender' Maschinen, die zur Erfüllung ihrer Aufgaben in ihrer Umgebung ganz oder teilweise autonom agieren können" (Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover 2016b). Die Schwerpunkte liegen dabei in den Bereichen Medizintechnik, Produktionstechnik, Robotik und Fahrzeugmechatronik. Neben den im MZH vertretenen Instituten gibt es in der Region Hannover eine Reihe weiterer Forschungseinrichtungen verschiedenster Fachrichtungen, die wissenschaftliche Potenziale im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme aufweisen. Im Rahmen einer umfassenden Analyse der Forschungsschwerpunkte aller wissenschaftlichen Einrichtungen in der Region Hannover wurden 42 Institutionen identifiziert, die aufgrund ihrer spezifischen Kompetenzprofile Anknüpfungspunkte für die Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen. Es handelt sich dabei um 33 Institute der LUH, 3 Fakultäten der Hochschule Hannover, 3 Kliniken der MHH sowie 3 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Die 33 Institute der LUH verteilen sich wiederum auf die Fakultät für Bauingenieurwesen und

Geodäsie (3 Institute), der Fakultät für Mathematik und Physik (3 Institute), die Fakultät für Elektrotechnik und Informatik (11 Institute), die Fakultät für Maschinenbau (12 Institute), die Juristische Fakultät (2 Institute) und die Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät (2 Institute). Eine Liste aller Institute sowie Informationen zu deren spezifischen Schwerpunkten sind im Anhang zu finden.

Folglich handelt es sich bei den identifizierten Institutionen sowohl um technische als auch um nichttechnische Forschungseinrichtungen. Alle Institutionen befassen sich zumindest in einem ihrer Schwerpunkte mit technischen, juristischen, ökonomischen oder gesellschaftlichen Herausforderungen, die für die weitere Entwicklung adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme von zentraler Bedeutung sind. 5 Einrichtungen der LUH weisen eine besonders hohe Affinität für die Entwicklung von ganzheitlichen Lösungen im Bereich der Robotik auf. Exemplarisch werden ihre spezifischen Kompetenzprofile an dieser Stelle skizziert:

**LUH – Fakultät für Maschinenbau:**

- **Institut für Mechatronische Systeme (imes):** Kernthemen der Forschungsaktivitäten am imes sind Entwurf, Simulation, Optimierung und Regelung komplexer mechatronischer Systeme. Hierfür finden modernste Methoden der Modellierung, Regelungstheorie, Parameteridentifikation, Zustandsbeobachtung sowie numerischen Optimierung Anwendung. Neben der Entwicklung und Umsetzung maßgeschneiderter, applikationsspezifischer Lösungen, die bspw. im Bereich der mechatronisch assistierten Chirurgie zum Einsatz kommen, werden flexibel nutzbare Roboterkonzepte erforscht. Fragestellungen aus dem Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme werden vor allem in den Forschungsgruppen „Robotik und autonome Systeme“ (z. B. Leistungssteigerung von Parallelrobotern mittels kinematischer Redundanz, energieeffiziente Bahnen durch Energieaustausch und Ausnutzung von Energiespeichern, Handwerker-Kraftassistenzsystem mit adaptiver Mensch-Technik-Interaktion etc.), „Medizintechnik und Bildbearbeitung“ (z. B. roboterassistierte Laserosteotomie, roboterassistierte Stimmlippenchirurgie etc.) sowie „vernetzte Systeme und maschinelles Lernen“ (z. B. Bereitstellung und Auswertung umfassender Anlagen-, Prozess- und Sensordaten der Feld- und Maschinenebene, komplexe mechatronische Systeme mit kognitiven Fähigkeiten, die eine automatische Selbstdiagnose, -konfiguration und -optimierung beherrschen etc.) bearbeitet. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des imes bieten Vorlesungen u. a. zu den Themen Robotik (Kinematik und Dynamik, Bahnplanung, Regelungs- und Identifikationsverfahren, Sensoren, mobile Roboter etc.) sowie computer- und roboterassistierte Chirurgie an. Am Institut wird zudem die RobotChallenge, eine stark anwendungsorientierte Vorlesung mit Wettbewerbscharakter, koordiniert. An mobilen Roboterplattformen lösen die Studierenden Aufgabenstellungen aus den Gebieten der mobilen Manipulation, Objekterkennung, Lokalisation, Navigation oder Simulation. Das im Jahr 2012 gegründete studentische Team LUHbots ist amtierender Weltmeister sowie Deutscher Meister in der Liga RoboCup@Work des internationalen RoboCup-Wettbewerbs.

- **Institut für Montagetechnik (match):** Am match wird in Kooperationen mit unterschiedlichen Forschungseinrichtungen und Industriepartnern im Bereich der manuellen und automatisierten Montagetechnik geforscht. Ein Kernforschungsthema ist die Konzipierung von robotergestützten Handhabungsvorgängen. Hierfür werden komplette Montagesysteme und -zellen entwickelt, um eine Automatisierung von Montagevorgängen zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang kommt unterschiedlichste Robotertechnik zum Einsatz. So werden am Institut bspw. Parallelroboter, mobile Roboter und Compliant Mechansimen entwickelt und verbessert. Neben der reinen Automatisierung von Montageprozessen befassen sich die Mitarbeiterinnen

und Mitarbeiter des match auch mit Strategien und Methoden für kollaborative Montageprozesse zwischen Roboter-Roboter und Mensch-Roboter. Ein potenzialreiches Forschungsgebiet bildet die sogenannte „Soft Robotic“, in der Roboterstrukturen aus weichen Materialen entwickelt werden, unter anderem um eine inhärent sichere Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter zu erlauben. Die Auslegung sowie Modellierung solcher hochredundanter Systeme ist ein Kernthema des Instituts. Lehrveranstaltungen des Instituts umfassen bspw. Fragen der Roboterprogrammierung und zum Einsatz von Industrierobotern. Im Rahmen eines Roboterprojekts entwickeln die Studierenden in Kleingruppen mobile Roboter, um eine Reihe von unterschiedlichen Körpern zu greifen, über eine kurze Strecke zu transportieren und gezielt abzulegen. Danach erfolgt die methodische Auswahl von Mechanismen, Materialien, Motoren und Sensoren, bevor die Roboter mit Lego Mindstorms aufgebaut, programmiert und schließlich ausprobiert werden.

- **Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik:** Der Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik wurde 2015 gegründet und ist aus der Emmy Noether-Nachwuchsgruppe CROSS hervorgegangen. Im Vergleich zur klassischen Robotik besitzen Kontinuumsroboter keine diskreten Gelenke und starren Verbindungen, sondern sind zumeist durch flexible Rückgratstrukturen charakterisiert. Bionisch inspiriert von Elefantenrüsseln, Schlangen oder Tentakeln, zeichnen sich Kontinuumsroboter durch ihre hohe Gewandtheit und Manipulierbarkeit aus. Die flexible Struktur, ausgezeichnete Skalier- und Miniaturisierbarkeit kontinuierlicher Roboter erlaubt zahlreiche makro- und mikroskopische Anwendungen, wie die Manipulation in beengten Räumen (z. B. minimalinvasive Operationen durch natürliche Körperöffnungen) oder geschicktes Manövrieren (z. B. Turbineninspektion oder Zellmanipulation). Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls arbeiten u.a. am Design und der Konstruktion von Kontinuumsrobotern, an echtzeitfähigen Methoden zur aufgaben- und situationsadaptiven Robotersteuerung, an Optimierungsverfahren zur Parametrierung von Manipulatoren sowie an Fragen der Mensch-Maschine-Interaktion. Die Entwicklung der neuen Robotik-Systeme wird u. a. in Kooperationen mit Wissenschaftlern der LUH vorangetrieben. Lehrveranstaltungen werden z. B. zur Programmierung mechatronischer Systeme sowie zu den Grundlagen der Kontinuumsrobotik angeboten.

**LUH – Fakultät für Elektrotechnik und Informatik:**

- **Institut für Regelungstechnik (IRT):** Die Regelungstechnik ist eine der grundlegenden Disziplinen der Mechatronik. Bei der Erforschung und Anwendung dieses Querschnittsthemas sind neben theoretisch ausgerichteten Forschungsthemen auch die praktische Anwendbarkeit und die Realisierung neuer Verfahren unter Aspekten der Echtzeitdatenverarbeitung von zentraler Bedeutung. Schwerpunkte bilden die Konstruktion, Modellierung und Regelung mechatronischer Systeme (z. B. bei der Entwicklung zweibeiniger Laufmaschinen) sowie Fragen der Regelungstheorie und der Echtzeitdatenverarbeitung. Zahlreiche Montageaufgaben gelten bisher als nicht automatisierbar, da sie eine hohe Flexibilität und Expertise der Mitarbeiter erfordern. Robotische Systeme können diese Tätigkeiten ergonomischer und schonender gestalten. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts forschen deshalb u. a. an Leichtbaurobotern, die aufgrund ihrer hohen Sensitivität und schnellen Reaktionsfähigkeit eine sichere Mensch-Roboter-Interaktion ermöglichen sowie an intelligenten mobilen Assistenzsystemen und Fragen des maschinellen Lernens. Darüber hinaus werden am IRT Technologien entwickelt, welche die Lebensumstände von Personen mit verletzten oder amputierten Gliedmaßen signifikant verbessern können (neuronal gesteuerten Prothesen und Assistenzroboter). Das

Lehrangebot des Instituts umfasst z .B. Veranstaltungen zu den Themen Automatic Control, maschinelles Lernen für Roboter und autonome Systeme, Mensch-Maschine-Kollaboration oder ein Humanoid Robotics Laboratory.

- **Institut für Systems Engineering (ISE):** Das ISE befasst sich mit der Modellierung, Simulation, Analyse und Realisierung der Hardware- und Software-Architekturen komplexer, technischer Systeme und gliedert sich in die Fachgebiete Simulation, Echtzeitsysteme sowie System- und Rechnerarchitektur. Die Forschungsaktivitäten der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter umfassen u. a. Herausforderungen im Bereich mobiler Service-Roboter (z. B. autonome Transportsysteme oder Robotic FireFighters etc.) sowie adaptive und selbst-organisierende Systeme (Organic Computing) und deren Anwendung in Robotik, Verkehrswesen und Kommunikationstechnik. Im Lehrangebot des Instituts werden Themen wie Organic Computing, Grundlagen der Simulation und Modellierung, industrielle Steuerungstechnik und Echtzeitsysteme sowie autonome Serviceroboter aufgegriffen. Das Projekt mobile Serviceroboter ist eine praktisch orientierte Lehrveranstaltung, in der Studierende in Kleingruppen anwendungsnahe Aufgaben der mobilen Servicerobotik lösen.

Neben diesen fünf Forschungseinrichtungen, die sich durch eine besonders hohe Affinität für die Entwicklung ganzheitlicher Robotik-Lösungen auszeichnen, finden sich an den Fakultäten für Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik, Mathematik und Physik sowie Bauingenieurwesen und Geodäsie der LUH eine Reihe weiterer Institute, deren Kompetenzprofile verschiedene Schnittstellen für die Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen (bspw. Transport- und Automatisierungstechnik, Optomechanik, mikroelektronische Schaltungen, digitale Erfassung menschlicher Bewegungen, RFID-Technik, IT-Sicherheit in verteilten Systemen, Sensorentwicklung oder Laserscanning). Auch an der Hochschule Hannover wird an den Fakultäten für Elektro- und Informationstechnik, Maschinenbau und Bioverfahrenstechnik sowie Wirtschaft und Informatik intensiv an technologischen Komponenten adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme geforscht. Thematische Schwerpunkte stellen bspw. fahrerlose Transportfahrzeuge, die Entwicklung und Applikation intelligenter Mikrosensoren, Herausforderungen im Bereich der Automatisierungstechnik und bei der Konzeption digitaler Fabriken oder die Visualisierung der Sicherheit moderner IT-Infrastrukturen auf der Basis von Metadaten dar. An der Hochschule Hannover wird zudem ein Roboter-Workshop in Form einer dreitägigen Summer School für Schülerinnen und Schüler ab Klasse 11 angeboten. Die praktische Arbeit mit humanoiden Robotern ermöglicht Einblicke in wichtige Grundkonzepte und Lösungsstrategien der Informatik, Grundlagen der (Roboter-) Programmierung, das Zusammenspiel von Sensorik und Aktorik sowie Prinzipien der Sprach- und Gesichtserkennung. Die Schülerinnen und Schüler werden dadurch schon frühzeitig an zentrale Fragestellungen bei der Entwicklung adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme herangeführt und erhalten die Möglichkeit, sich mit spezifischen Inhalten der Studiengänge an der Hochschule Hannover vertraut zu machen.

Die Vielzahl der Akteure sowie die technologische Breite der entsprechenden Kompetenzfelder sind wichtige Grundvoraussetzungen für eine positive Profilbildung im Bereich der Robotik am Standort Hannover. Die Region zeichnet sich jedoch nicht nur durch hohe Forschungspotenziale im ingenieurwissenschaftlichen bzw. informationstechnischen Kernbereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme aus, sondern bietet auch verschiedene Anknüpfungspunkte in angrenzenden Wissenschaftssegmenten:

Da adaptiv-kollaborative autonome Systeme nicht nur in der Industrie eingesetzt werden, sondern im Zuge neuer Entwicklungen im Bereich der Servicerobotik Anwendungsfelder in den verschiedensten ökonomischen und sozialen Kontexten erschließen, bieten sie ein hohes Potenzial für cross-sektorale Innovationen. In der Region Hannover wird dies besonders deutlich am Beispiel der MHH, an der technologisches und medizinisches Know-how zur Entwicklung innovativer Diagnose- und Behand-

lungsmethoden integriert wird. Experten der Klinik für Augenheilkunde forschen beispielsweise an der Entwicklung und Steuerung von magnetischen Minirobotern im menschlichen Auge. Auch in der Chirurgie werden verstärkt Robotik-Lösungen eingesetzt. Beispiele sind die roboterassistierte Frakturversorgung und Umstellungsosteotomie sowie Verfahren zur verbesserten intraoperativen Bildgebung mit navigations- und robotikgestützten Verfahren (Klinik für Unfallchirurgie) sowie die roboterassistierte Chirurgie zur atraumatischen Insertion von Reizelektroden und mechanischen Aktautoren in das Innenohr oder eine minimal-invasive Cochlea-Implantat-Versorgung (Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde). Darüber hinaus befassen sich Juristen und Ökonomen der LUH mit Fragestellungen, die für die weitere Entwicklung der Robotik von Bedeutung sind. Genannt sei bspw. das Kriminalwissenschaftliche Institut, an welchem Fragen zur Menschenwürde in Mensch-Maschinen-Systemen, Herausforderungen für das Strafrecht bei der Einführung autonomer Fahrzeuge oder die juristischen Folgen einer elektronischen Personalität behandelt werden.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass Innovationen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme in der Regel auf Entwicklungen in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen zurückgeführt werden können. Wenngleich das MZH mit der Partizipation der 16 Institute über ein weitgehendes Kompetenzprofil verfügt, ist für eine weitere Stärkung des thematischen Schwerpunkts Robotik/autonome Systeme zu prüfen, inwieweit das technische Profil noch weiter ausgebaut werden muss und kann, um allen Ansprüchen und den Entwicklungen, die sich seit der Implementierung des MZH vollzogen haben, Rechnung zu tragen. Dies gilt insbesondere für die „digitalen Anteile“ der Robotik und somit die „Systemintelligenz“ und die dafür benötigte Modellbildung. Darüber hinaus bietet es sich an, auch die nicht-technischen Aspekte der Robotik/autonomer Systeme wie etwa Rechts- und Arbeitswissenschaften in einen solchen Verbund einzubeziehen („MZHplus“). Bereits heute wird am MZH neben der technischen Forschung, Entwicklung und Lehre Studierenden auch Unterstützung für die marktnahe Weiterentwicklung von Ideen und Produkten und die Firmengründung gegeben (vgl. Kapitel 6: Start-ups in der Robotik).

Die skizzierte Weiterentwicklung und Erweiterung des seit nunmehr über 15 Jahre bestehenden MZH-Ansatzes kann in der Konsequenz bedeuten, dass das Thema nicht nur stilbildend für einzelne Fakultäten sein wird, sondern für die gesamte Leibniz Universität. Da mit einer solchen Ausrichtung darüber hinaus nicht nur wissenschaftliche sondern auch wirtschaftliche Weichenstellungen verbunden sind, kommt der Einbeziehung von Firmen – sowohl als Technologie- als auch als Anwendungspartner – eine wichtige Rolle zu. Nach der in Kapitel 5 durchgeführten wirtschaftlichen Potenzialanalyse existiert insbesondere mit Blick auf Anwendungspartner ein großes Potenzial für adaptiv-kollaborative autonome Systeme. Dies reicht von einschlägigen Großunternehmen über mittelständische Firmen bis hin in den Service-Bereich (Pflege, Rehabilitation etc.). Auch Abbildung 2 im Kapitel 2 „Industrie- und Servicerobotik“, verdeutlicht, dass insbesondere der auch in der Region Hannover prominent vertretene Fahrzeugbau (Volkswagen Nutzfahrzeuge), die Gummi- und Kunststoffwarenindustrie (Continental), sowie die Metallindustrie die größten Anwenderbranchen für (Industrie-) Roboter sind.

Auf dieser Bestandausnahme aufsetzend sind Maßnahmen wie die „Roboterfabrik“ und andere, die Fragen der Aus- und Weiterbildung sowie Nutzungsmodelle adressieren, ein wichtiges Element zur Stärkung der „robotic literacy“ in der Region (vgl. auch: Kapitel 7 „Regionale Initiativen“):

> "'Die Roboterfabrik trägt das Potenzial, mittelfristig zu einem strategischen Standortvorteil zu werden', schwärmt die Region. Hochtechnologie-Nachwuchs für die gesamte Bundesrepublik könnte hier ausgebildet werden. Wenn derartige Fachkräfte 'hoch verfügbar' seien, werde das zum Faktor für Firmen auf Standortsuche.“ (Hannoversche Allgemeine Zeitung 2015)

Wenngleich sich angesichts der gegenwärtig noch geringen Alltagsdurchdringung von Robotern der Anspruch, „robotic natives“ hervorzubringen, erst noch in der Praxis erweisen muss, dürfte unbestreit-

bar sein, dass ein derart ausgeprägtes Profil der LUH und Region im Bereich Robotik/autonome Systeme einen positiven Einfluss auf die Verankerung/Durchdringung des Themas in der regionalen Wirtschaft haben wird. Neben der Anwendung in den unterschiedlichsten Sektoren und Unternehmen – eine solche Durchdringung erfordert im Regelfall eine Integration in bestehende Produktions- und sonstige Prozesse – bietet sich hier die Möglichkeit, ein „Wertschöpfungs-Ökosystem“ zu etablieren, das Entwicklungen aus dem universitären Umfeld aufgreift und in unterschiedlicher Weise variiert. Exemplarisch bietet der maßgeblich von Wissenschaftlern an der LUH entwickelte Leichtbauroboterarm FRANKA EMIKA aufgrund seiner Cloud- und App-basierten Vernetzungs-, Austausch- und Programmiermöglichkeiten die Basis für ein solches Ökosystem (KBee AG 2016). FRANKA soll ein für diese Produktklasse geradezu revolutionäres Preis-Leistungs-Verhältnis (im für das Jahr 2017 vorgesehen Verkauf soll das System mit rund 10 Tsd. Euro nur einen Bruchteil des Preises vergleichbarer Systeme anderer Anbieter kosten) und so eine erschwingliche Plattform (Hardware plus „Betriebssystem“) bieten. Ähnlich wie bei App-Stores (iTunes, Google Play) soll es Entwicklern auch hier ermöglicht werden, Software zu erstellen und anzubieten, die bestimmte Aufgaben – je nach Unternehmen/Branche – ausführt. Die Etablierung eines solchen zweiseitigen Marktes bietet die Möglichkeit, mit überschaubarem Kapitaleinsatz das korrespondierende „Wertschöpfungs-Ökosystem“ auszubauen; dies gilt insbesondere in der Einführungsphase eines derartigen Systems und bietet somit ein „window of opportunity“ für ein entsprechendes Engagement (Förderung spezialisierter Start-ups etc.).

Einen ähnlichen Ansatz hat das japanische Unternehmen SoftBank Robotics (SoftBank Robotics 2016), das Entwicklern ein Software Development Kit (SDK) zur Programmierung seiner Roboter, beispielsweise für den Interaktionsroboter *Pepper* zur Verfügung stellt. Entwickler haben so die Möglichkeit, Applikationen für die Roboter zur programmieren. Das SDK unterstützt eine Vielzahl von modernen Programmiersprachen wie Python, Java, Java-Script oder C++, um eine möglichst große Entwicklergemeinschaft anzuziehen. Es ist für die Entwickler möglich, ihre Applikationen auf einer Plattform dem Kunden zur Verfügung zu stellen. Ähnlich eines App-Stores sind die Programme für den Kunden per Point-and-Klick auf dem robotischen System installierbar. Bisher ist es nicht möglich, Applikationen über den Store zu vertreiben. Mit diesem Open-Data Ansatz stellt das Unternehmen sicher, dass sich möglichst schnell ein möglichst großer Nutzer- und Entwicklerkreis bildet. Applikationen richten sich überwiegend an private Nutzer aus dem asiatischen Raum. Auch der Verkaufspreis von rund 1.700 € spricht das private Segment an. Es bleibt abzuwarten, wie groß die Community sein muss, um den Entwicklern realistisch die Möglichkeit zu bieten, ihre Apps gegen Bezahlung auf einer Plattform zu vertreiben. Dazu müssen einerseits die Apps einen gewissen Reifegrat aufweisen und über ein experimentelles Stadium hinauswachsen. Andererseits müssen die Kunden den Mehrwert dieser Apps erkennen und dazu bereit sein, für sie zu bezahlen. Übertragbar ist dieser Ansatz für einen Freizeitroboter auf Deutschland und Europa nur bedingt, da eine gewisse Skepsis gegenüber Robotern im privaten Bereich für den reinen Zeitvertreib vorherrscht, sofern dieser keinen Zweck (bspw. Pflege) erfüllt. Dennoch ist der bereits bestehende App-Store ein anschauliches Beispiel und in den professionellen Bereich übertragbar. Besonders der Ansatz über rein kostenlose Apps hat großes Potenzial, den Markt in einer frühen Phase für sich zu gewinnen, in der robotische Systeme von vielen Herstellern überall auf der Welt auf den Markt gebracht werden. Aus dem Spielekonsolenbereich dürfte bekannt sein, dass über Erfolg und Niederlage eines Computersystems nicht allein die technische Leistungsfähigkeit entscheidet, sondern die Verfügbarkeit von Titeln bzw. Software. Gleiches gilt für robotische Systeme.

**Exkurs „Roboterhören“**

Damit sich ein robotisches System in seiner Umgebung zurechtfinden kann, benötigt es Sensoren und Signalverarbeitung. Während das Feld der visuellen Signalverarbeitung in der Robotik schon relativ weit erforscht ist, steckt die Forschung der Audiosignalverarbeitung noch in den Kinderschuhen (vgl. Alameda-Pineda und Horaud 2015). Es wäre jedoch falsch anzunehmen, es handle sich beim Roboterhören um ein in sich abgeschlossenes Feld. Vielmehr spielen eine ganze Fülle Disziplinen im Feld des Roboterhörens zusammen. Damit ein robotisches Systems auf Audioebene mit seiner Umwelt kommunizieren bzw. menschliche Anweisungen erhalten kann, muss eine Vielzahl von Technologien zusammenspielen. An erster Stelle steht die Lokalisation der Geräuschquelle. Ist die genaue Position der Geräuschquelle bekannt, können Störfaktoren wie Nebengeräusche (Verkehr, Maschinenlärm etc.) leichter ausgeschaltet werden. Zusätzlich dazu können Informationen über die Raumgeometrie ein Erkennen der Geräuschquelle erleichtern (Beamforming). Ist die relevante Geräuschquelle identifiziert, wird mittels Spracherkennung der Inhalt der Nachricht an das robotische System ermittelt. Eine sehr spezielle Form der Geräuscherkennung ist die Stimmbiometrie einzelner menschlicher Individuen. So kann ausgeschlossen werden, dass das System seine Anweisungen von einer nicht autorisierten Quelle (Missbrauch) erhält. Darüber hinaus sollte das robotische System über ein Dialogframework verfügen, um eventuell Nachfragen zu stellen, beispielsweise bei nicht verstandenen Anweisungen oder beim Erbitten von Präzisierungen der Anweisung.

Speziell bei der Lokalisation von Geräuschquellen und der Raumgeometrie könnte Sennheiser Hannover Expertise zur Weiterentwicklung einbringen. In dem Unternehmen entwickelte digitale Hochleistungsmikrofone (d. h. das Signal wird digital eingegeben und nicht über analoge Schnittstellen) können schon jetzt durch digital signal processing Rauschen auf ein Minimum reduzieren. Auch Beamforming findet in einigen Sennheiser-Produkten Anwendung. Keine Software ist im Stande, ein schlechtes analoges Signal adäquat und verlustfrei weiterzuverarbeiten. Sennheiser könnte hier qualitativ hochwertige Hardwarekomponenten liefern. Die Marktausrichtung Sennheisers hat jedoch private Endkonsumenten im Fokus. Die technologische Reife der Hardware wäre bei Sennheiser folglich nicht die einschränkende Komponente, sondern vielmehr Kapazitäten im Bereich Verkauf und Marktpositionierung.

## 4.2 Forschungsschwerpunkte in Deutschland und der Region Hannover

In der folgenden Übersicht werden die Schwerpunkte in der Robotikforschung in Deutschland und Hannover aus graphentheoretischer Sicht betrachtet. Dazu wird ein Datensatz aus der Literaturdatenbank „*Web of Science*“ analysiert und geografisch für Deutschland und im Anschluss für den Standort Hannover betrachtet. Die geografischen Foki werden explorativ verglichen und das verwendete methodische Rahmenwerk kurz umrissen.

Die Forschungsdatenbank „*Web of Science*“ bietet eine Weboberfläche zur Suche von wissenschaftlicher Literatur und eine Fülle von Exportmöglichkeiten der Suchergebnisse. Die Datenbank deckt gegenwärtig rund 50.000 Bücher, 12.000 Journale und 160.000 Conference Proceedings ab und wächst ständig. Suchergebnisse enthalten reichhaltige Metadaten wie Schlagwörter, Forschungsgebiete, Adressen der Autoren, Anzahl der Zitationen und vieles mehr. Sie ist nicht allumfassend, bietet jedoch eine umfassende Abdeckung naturwissenschaftlicher und technischer Forschungsfelder.

Dieses Kapitel stellt einen explorativen Ansatz dar, um relevante Forschungsfelder der Robotik, d. h. Forschungsfelder, in denen in Deutschland und Hannover zum Thema Robotik publiziert wird, zu identifizieren, zu kategorisieren und zu visualisieren. Das geschieht mit der Datenbanksuche des „*Web of Science*“ und der elektronischen Verarbeitung der Suchergebnisse in einem Datenbankanalysewerkzeug, welches die Ergebnisse in einem Graphen bestehend aus Knoten und Kanten darstellt.

Die Suche im „*Web of Science*“ nach dem Stichwort *robotic* wurde aus Aktualitätsgründen beschränkt auf Publikationen aus dem Zeitraum 2010 bis 2016; für Deutschland als Publikationsstandort lieferte sie 1.548 Treffer. Folglich waren innerhalb der letzten 6 Jahre Institutionen mit Sitz in Deutschland an 1.548 wissenschaftlichen Werken (Bücher, Paper in wissenschaftlichen Journalen etc.) beteiligt, die im „*Web of Science*“ erfasst sind.

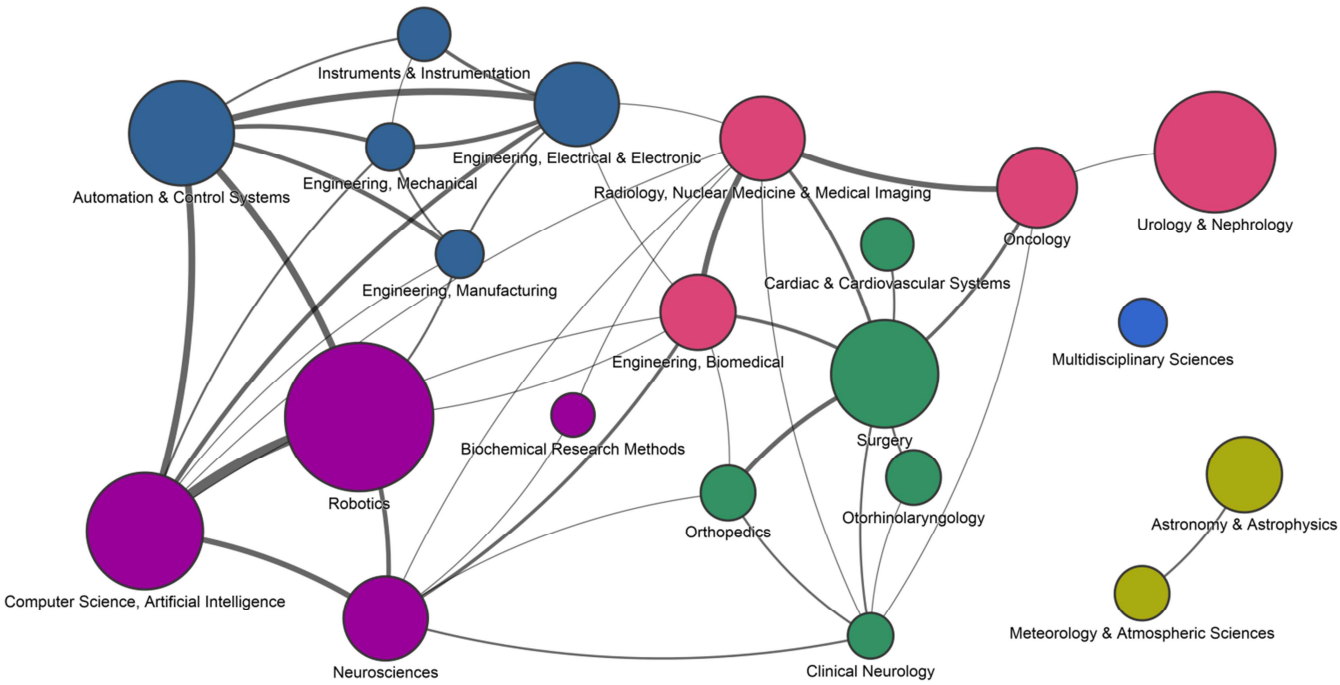


Abbildung 8: Forschungsgebiete der Robotik für den Standort Deutschland

Abbildung 8: Forschungsgebiete der Robotik für den Standort Deutschland repräsentiert die Ergebnisse der Suche für Deutschland aufgeschlüsselt nach Forschungsgebieten. Dabei repräsentiert die Größe der Knoten (farbige Kreise) die Anzahl der Publikationen, die zu diesem Forschungsgebiet in Ver-

bindung mit dem Suchbegriff *robotic* erschienen sind. Die Kanten (Verbindungen zwischen den Knoten) zeigen an, ob die Publikationen Themen aus mehreren Forschungsgebieten adressieren. Die Stärke der Kanten beschreibt, wie häufig die verbundenen Forschungsgebiete gemeinsam in Publikationen genannt werden.

Ein Beispiel:
Zum Forschungsgebiet *Computer Science, Artificial Intelligence* existieren 164 Publikationen im vorliegenden Datensatz und zum Forschungsgebiet *Neurosciences* existieren 86 Publikationen. Aus diesem Grund ist der Knoten zu *Neurosciences* kleiner. Die Knoten sind mit einer mitteldicken Kante verbunden, die aussagt, dass 27 Publikationen existieren, die in beiden Forschungsgebieten beheimatet sind. Zur besseren Lesbarkeit des Schaubildes und zur Erhöhung der Relevanz der Schlussfolgerungen wurden nur Forschungsgebiete (Knoten) berücksichtigt, die mindestens 22 Publikationen enthalten. Knoten, die weniger Publikationen enthalten, sind in der Abbildung ausgeblendet. Die Zahl 22 wurde explorativ ermittelt und beschreibt ein Abwägen zwischen Detailgenauigkeit und Übersicht. Die unterschiedlichen Farben der Knoten ergeben sich aus ihrer Gruppierung in Clustern. Die Cluster wurden automatisch ermittelt aus verschiedenen graphentheoretischen Kennzahlen, die sich aus gemeinsamen Publikationen (Kanten) ergeben, sowie einem Algorithmus zur Modularität (Blondel et al. 2008). Die Cluster zeigen, dass im Bereich Robotik verschiedene Forschungsschwerpunkte präsent sind, die sich in den Bereichen von

- Kognitionswissenschaften, künstliche Intelligenz, Informatik (violett),
- Ingenieurswissenschaften (marineblau),
- Medizin (grün) und Medizintechnik (rot),
- Astronomie (gelb) und
- Interdisziplinären Wissenschaften (mittelblau)

bewegen. Die beiden letztgenannten Forschungsgebiete sind voneinander und vom Rest des Graphen isoliert. Das heißt, dass keine Publikationen existieren, die diese gemeinsam mit Themen aus den anderen identifizierten Bereichen adressieren.

Auffällig ist das Fehlen von Themen, die mit Servicerobotik assoziiert werden könnten. Einerseits könnte die Ursache dafür sein, dass der Begriff der Servicerobotik (*service robotics*) bis dato in Deutschland so schwach definiert ist, dass zwar implizit Forschung betrieben wird, jedoch der Begriff nicht explizit erwähnt wird. Andererseits, und weitaus gravierender wäre, wenn in diesem Forschungsfeld bisher grundsätzlich nur sehr rudimentär gearbeitet würde. Diese Vermutung deckt sich mit der Feststellung, dass Deutschland zwar eine führende (Forschungs-) Nation im Bereich Industrierobotik ist, in der Servicerobotik jedoch kaum aktiv ist. Im Hinblick auf das enorme Entwicklungspotenzial in diesem Bereich darf Deutschland nicht den Anschluss an globale Aktivitäten verlieren (siehe Kapitel 2 „Industrie- und Servicerobotik“).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für Deutschland besonders im Bereich Medizin und Medizintechnik eine hohe Forschungsaktivität im Bereich Robotik und adaptiv-kollaborative Systeme sichtbar ist. Innovation ist besonders in den disziplinübergreifenden Forschungsfeldern zu erwarten, die die Brücke zu Nachbarclustern herstellen, beispielsweise *Biomedical Engineering* oder *Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging.* Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie sich die Situation am Forschungsstandort Hannover gestaltet? Welche Trends sind dort zu beobachten? Inwieweit reflektiert die Forschung in Hannover deutschlandweite Trends? An welchen Stellen können Forschungsschwerpunkte und -kooperationen ausgebaut werden?

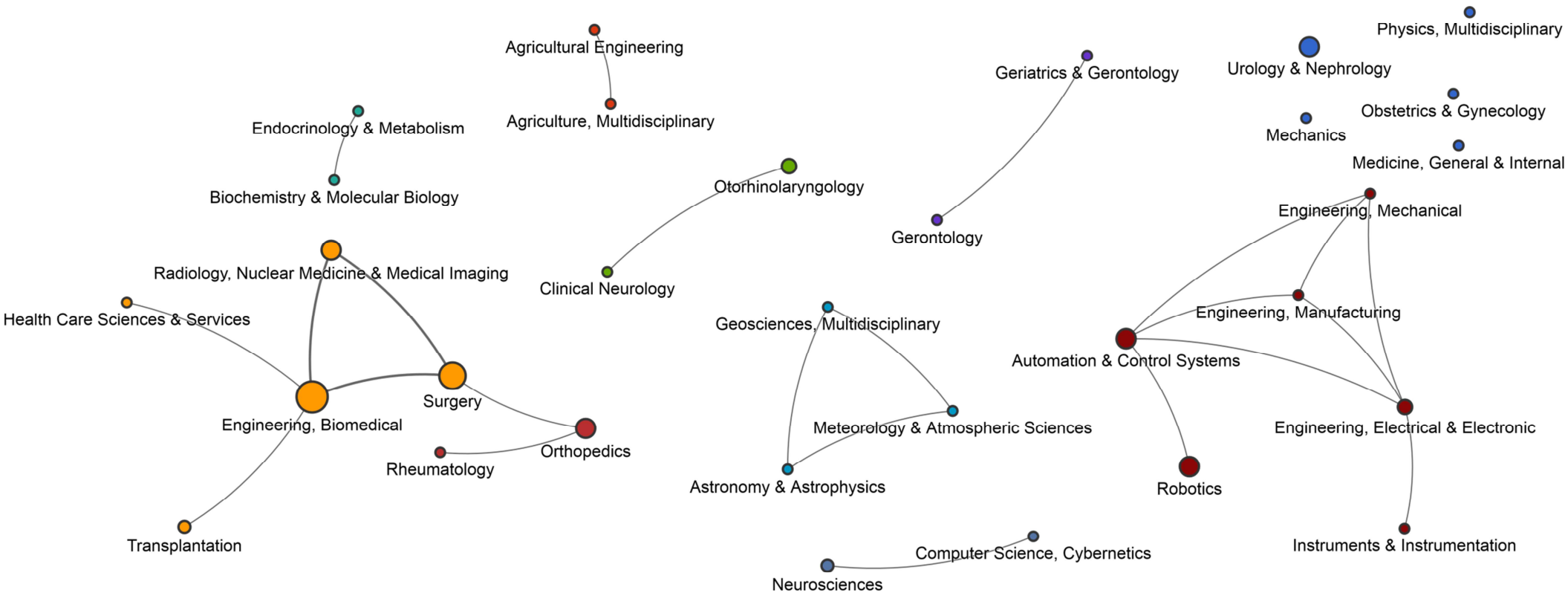


Abbildung 9: Forschungsgebiete der Robotik für den Standort Hannover

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde auf derselben Datengrundlage ein Graph für den Publikationsstandort Hannover erstellt (Abbildung 9: Forschungsgebiete der Robotik für den Standort Hannover). In diesem Fall war es aufgrund der geringeren Publikationsanzahl und der daraus resultierenden geringeren Anzahl an Forschungsgebieten nicht notwendig, eine Untergrenze für die Anzahl an Publikationen einzuziehen. Der Graph enthält folglich alle Publikationen im Bereich Robotik, an denen Institutionen aus Hannover beteiligt sind.

Der Hannoveraner Graph weist grundlegend andere Eigenschaften auf als der deutschlandweite Graph. Sehr auffällig ist, dass die durch den Algorithmus identifizierten Cluster in vielen Fällen nicht vernetzt sind. Die Darstellung legt nahe, dass am Standort Hannover zwar an mit Robotik assoziierten Themen geforscht wird, im Bereich der gemeinsamen Publikationen jedoch noch Ausbaupotenzial besteht. Die aktivsten Kooperationen bewegen sich um die Forschungsfelder Medizin (ockergelb) und Ingenieurswissenschaften (weinrot), die im Fall Hannover jeweils an der Medizinischen Hochschule Hannover und der Leibniz Universität Hannover angesiedelt sind.

Die beiden Forschungscluster sind jeweils intern stark vernetzt, haben jedoch gemäß der Publikationsauswertung nur wenig Bezug zu anderen Fachrichtungen. An dieser Stelle besteht erkennbares Entwicklungspotenzial, da insbesondere die traditionell ingenieurswissenschaftlich geprägte LUH ihr Know-how in die hochkomplexen medizinischen Anwendungen der MHH einbringen könnte und von den Erfahrungen im medizinischen Betrieb profitieren würde; Kooperationen in anderen Themen belegen dieses Potenzial. Zudem bestehen zwischen den ingenieurwissenschaftlichen und medizinischen Instituten durchaus erste Forschungskooperationen. So arbeitet beispielsweise die Forschungsgruppe Medizintechnik & Bildverarbeitung am Institut für Mechatronische Systeme an der LUH in enger Zusammenarbeit mit Medizinern, Ingenieuren und Informatikern an innovativen Projekten im Bereich der Laborgerätetechnik und der computergestützten Präzisionschirurgie. Auch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls für Kontinuumsrobotik kooperieren mit der Klinik für Urologie und Urologische Onkologie an der MHH. Mit einer weiteren Vernetzung der Themencluster kann das Entwicklungspotenzial weiter erschlossen werden. Des Weiteren findet sich das Forschungsfeld *Robotics*, eigentlich eine Oberkategorie, nur schwach vernetzt im Cluster der Ingenieurwissenschaften. Durch eine Vernetzung mit dem Medizincluster könnte hier eine bessere Verankerung in der wissenschaftlichen Gemeinschaft erwirkt werden. *Biomedical Engineering* wurde in der Analyse zum Standort Deutschland zu Beginn dieses Kapitels als besonders vielversprechendes Themenfeld identifiziert, da es in Deutschland eine **Brückenfunktion** zwischen vielen Themenclustern leistet. Auch in der Auswertung am Standort Hannover erschienen in diesem Forschungsfeld Publikationen. Im Themencluster Medizin ist dieser Knoten die zentrale Einheit. Folglich ist an dieser Stelle bereits ein vielversprechender Weg eingeschlagen worden, den es weiter zu beschreiten gilt. Hier gilt es, diese Themen in den passenden Clustern (beispielsweise Medizin und Ingenieurswissenschaften) zu vernetzen, um möglichst intensiv von den entstehenden Synergieeffekten profitieren zu können.

Schlussfolgernd lässt sich aus graphentheoretischer Sicht festhalten, dass die Region Hannover im Forschungsfeld der Robotik zumindest teilweise einen Weg beschritten hat, der vielversprechend ist. Es sind jedoch umfangreiche Vernetzungsbestrebungen auf dem Gebiet der Wissenschaft erforderlich, um auch Wirtschaftsunternehmen einen geeigneten Nährboden für erfolgreiche Projekte und Produkte zur Verfügung zu stellen. Wie dieser Boden bereitet und Potenziale erschlossen werden können, wird in den folgenden Kapiteln diskutiert.

## 4.3 Zwischenfazit

Im Rahmen der Studienerstellung wurden Gespräche mit regionalen Robotik-Experten geführt. Auch in diesen Interviews wurde deutlich, dass die Region Hannover im wissenschaftlichen Bereich über gute Ausgangsbedingungen für eine weitere Entwicklung und Positionierung als Standort für kollaborativ-adaptive autonome Systeme verfügt. Die wissenschaftlichen Akteure decken mit ihren Forschungsschwerpunkten verschiedene Kompetenzfelder im Bereich der Robotik ab und sind überregional und international gut vernetzt. Dies gilt sowohl für die Forschungseinrichtungen, die an der Entwicklung ganzheitlicher Robotersysteme arbeiten sowie für Institute, deren Forschungsprofile technologische Überschneidungen mit der Entwicklung von kollaborativ-adaptiven autonomen Systeme aufweisen. Zudem hat sich die Institution des MZH nach Ansicht der Experten als Kooperationsplattform für Forschungsprojekte im Bereich der Robotik bewährt. Vor diesem Hintergrund kann die Region Hannover als einer der führenden Standorte der Robotik-Forschung in Deutschland bezeichnet werden.

Der Umzug der Institute der Fakultät für Maschinenbau an den Standort Garbsen ist mit Vor- und Nachteilen verbunden. Die Möglichkeit zur Nutzung der neuen wissenschaftlichen Infrastrukturen wird von den betroffenen Wissenschaftlern als sehr positiv bewertet. Zudem bietet der Standort Flächen für Ausgründungen oder die Ansiedlung neuer Kooperationspartner. Andererseits ist der Umzug mit einer räumlichen Trennung von vielen Kooperationspartnern, insbesondere aus dem Bereich Elektrotechnik und Informatik verbunden. Als Schwachstelle der wissenschaftlichen Potenziale in der Region Hannover wurde zudem die Tatsache identifiziert, dass es in der Region nur einen geringen Besatz mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen gibt, die technologische Schnittstellen für die Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen.

Zusammenfassend lassen sich bezüglich der wissenschaftlichen Robotik-Potenziale in der Region Hannover die folgenden zentralen Erkenntnisse skizzieren:

- Die Region Hannover zeichnet sich durch umfassende wissenschaftliche Kompetenzen bei der Entwicklung kollaborativ-adaptiver autonomer Systeme aus. Daraus ergibt sich die große Chance, die Region als Standort innovativer Robotertechnik weiterzuentwickeln.

- Die regionalen Forschungskompetenzen konzentrieren sich insbesondre an den Fakultäten für Maschinenbau sowie Elektrotechnik und Informatik an der LUH. Mehrere Institute entwickeln dort ganzheitliche Lösungen im Bereich kollaborativ-adaptiver autonomer Systeme. Darüber hinaus gibt es eine große Zahl an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unterschiedlicher Kompetenzfelder und Forschungseinrichtungen, die Anknüpfungspunkte für Fragen der Robotik-Forschung bieten. Die Vielzahl der Akteure sowie die technologische Breite der entsprechenden Kompetenzfelder sind wichtige Grundvoraussetzungen für eine positive Profilbildung im Bereich der Robotik am Standort Hannover.

- Die Ausbildung des Forschungsnachwuchses ist quantitativ und qualitativ auf einem sehr hohen Niveau. Inhaltliche Überschneidungen in der Ausbildung gibt es nicht nur mit technischen Instituten, sondern auch in anderen Bereichen (Jura, Wirtschaftswissenschaften etc.)

- Zur Unterstützung von weiteren Forschungskooperationen im Robotik-Bereich sollte eine Ergänzung des MZH um weitere Institute mit technologischen Anknüpfungspunkten geprüft werden (MZHplus).

- Ferner hat die Web of Science-Analyse verdeutlicht, dass in der Region Hannover durchaus noch Potenziale für weitere Kooperationen zwischen den verschiedenen Kompetenz- und Anwendungsfeldern kollaborativ-adaptiver autonomer Systeme bestehen.

- Da adaptiv-kollaborative autonome Systeme nicht nur in der Industrie eingesetzt werden, sondern im Zuge neuer Entwicklungen im Bereich der Servicerobotik Anwendungsfelder in den verschiedensten ökonomischen und sozialen Kontexten erschließen, bieten sie ein hohes Potenzial für cross-sektorale Innovationen.

- Eine regionale Profilschärfung könnte insbesondere über eine weitere Intensivierung der Forschung zum Einsatz robotischer Systeme in der Medizintechnik und im Pflegebereich erfolgen. Auch mit den Materialwissenschaften bzw. Kompetenzträgern aus dem Bereich der Chemie wird bereits an innovativen Materialien zur Herstellung neuartiger Roboterstrukturen geforscht.

- Die Kooperationspartner aus der Wirtschaft stammen in den meisten Fällen nicht aus der Region Hannover. Die erfolgreiche Weiterentwicklung der Region als international anerkannter Standort innovativer Robotertechnik wird deshalb auch in erheblichem Maße davon abhängig sein, inwiefern es gelingt, das hohe wissenschaftliche Potenzial für die regionale Wirtschaft nutzbar zu machen. Die wirtschaftlichen Potenziale in der Region Hannover werden in Kapitel 5 vertiefend betrachtet.

# 5 Wirtschaftliche Potenziale

## 5.1 Regionales Entwickler- und Anwenderpotenzial

Die Region Hannover verfügt über eine leistungs- und wettbewerbsfähige Forschung – hier sind insbesondere die Leibniz Universität Hannover mit ihren Instituten der Fakultät für Maschinenbau, das Institut für Integrierte Produktion Hannover und die Hochschule Hannover zu nennen – im Bereich Robotik bzw. kollaborativ-adaptive autonome Systeme (vgl. Kapitel 4). Diese Stärke bildet sich auf den ersten Blick nicht in gleichem Maße in der Unternehmenslandschaft der Region ab. Die bekannten und international tätigen Robotik- und Automatisierungstechnikfirmen und deren Zulieferer wie KUKA, FESTO, Siemens und Bosch haben ihren Sitz im Süden/Südwesten Deutschlands. Andere Akteure bilden mit dem BMBF-Spitzencluster „Intelligente technische Systeme OWL“ in Ostwestfalen-Lippe ihrerseits einen bundesweit und darüber hinaus ausstrahlenden Leuchtturm, der einerseits als Partner für eine strategische Allianz mit der Region Hannover (im Kern ist hier sicherlich die Landeshauptstadt und ihr unmittelbares Umland zu nennen) in diesem Thema denkbar ist, andererseits aber auch eine direkte Konkurrenz darstellt. Diese Ambivalenz gilt insbesondere für Unternehmen, die im zweiten Ring der Region – etwa in Hameln – beheimatet sind und die sich problemlos sowohl nach Paderborn/Bielefeld als auch nach Hannover orientieren können.

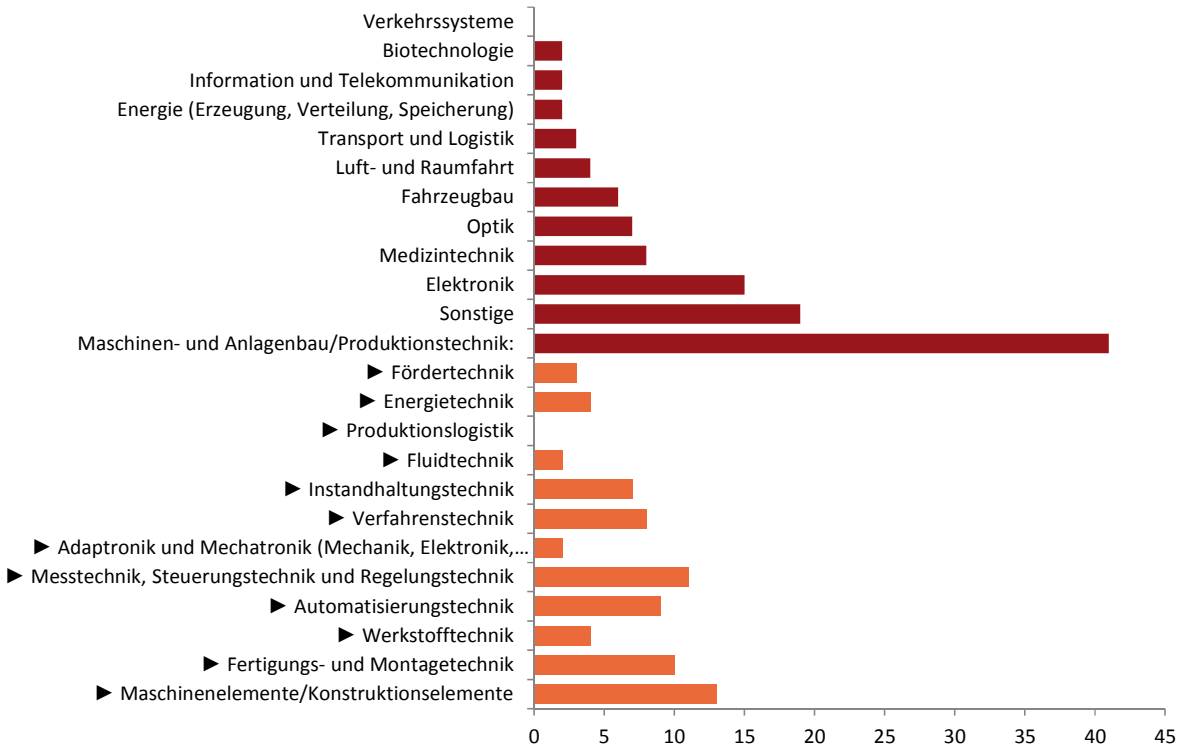


Abbildung 10: In welchem Wirtschaftszweig ist ihr Unternehmen tätig? Der Sektor „Maschinen- und Anlagenbau/Produktionstechnik wurde in Unterkategorien aufgeschlüsselt. X-Achse: Anzahl Unternehmen (N = 69). Ergebnisse aus einer Unternehmensbefragung in der Region Hannover vom August/September 2013 (Quelle: Bovenschulte et al. 2014, S. 68).

Trotz der genannten Herausforderungen verfügt die Region Hannover zweifelsfrei über ein hohes, wenngleich disperses technologisches Potenzial mit Blick auf den Unternehmensbesatz. Zahlreiche Unternehmen stellen Komponenten her, die auch für die Entwicklung von autonomen Systemen rele-

vant sind. Dies reicht von Sensoren, Steuerungselementen über mechanische Antriebe, bis zu embedded systems und spezialisierte Software. Mit Ausnahme einiger weniger Unternehmen wie der in Lehrte ansässigen Götting KG existieren jedoch wenige Systemintegratoren, die diese Komponenten unter dem erkennbaren Dach „Robotik/autonome Systeme“ zusammenführen.

Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse aus einer Unternehmensbefragung mit Schwerpunkt Maschinenbau/Produktionstechnik, die im Jahr 2013 in der Region Hannover durchgeführt wurde. In der Studie ging es um die Ermittlung der (wirtschaftlichen) Potenziale, die ein zukünftiger Forschungscampus Hannover-Garbsen für die Region haben wird. Für eine bessere Differenzierung der Tätigkeitsbereiche der befragten Unternehmen wurden diese nach ihrem primären Wirtschaftszweig gefragt, in dem diese tätig sind. Zudem wurde der Sektor „Maschinen- und Anlagenbau/Produktionstechnik in Unterkategorien aufgeschlüsselt. Obwohl alle angeschriebenen Unternehmen zu dem Sektor „Produktionstechnik und Maschinenbau“ zählten, sehen sich diese selbst zum Teil auch anderen Wirtschaftszweigen primär zugehörig (z. B. Biotechnologie, IT, Energie). Nichtsdestotrotz ordnet sich die Mehrzahl dem klassischen Maschinen- und Anlagenbau/Produktionstechnik zu. Hierunter verteilen sich die Unternehmen wiederum auf die folgenden Schwerpunktbereiche: (1) Maschinenbau/Konstruktionselemente, (2) Messtechnik, (3) Fertigungs-/Montagetechnik sowie Automatisierung. Insgesamt lässt sich damit kein eindeutiger Schwerpunkt ausmachen, vielmehr scheinen die Unternehmen in ihrer Gesamtheit ein breiteres Spektrum abzudecken (Bovenschulte et al. 2014).

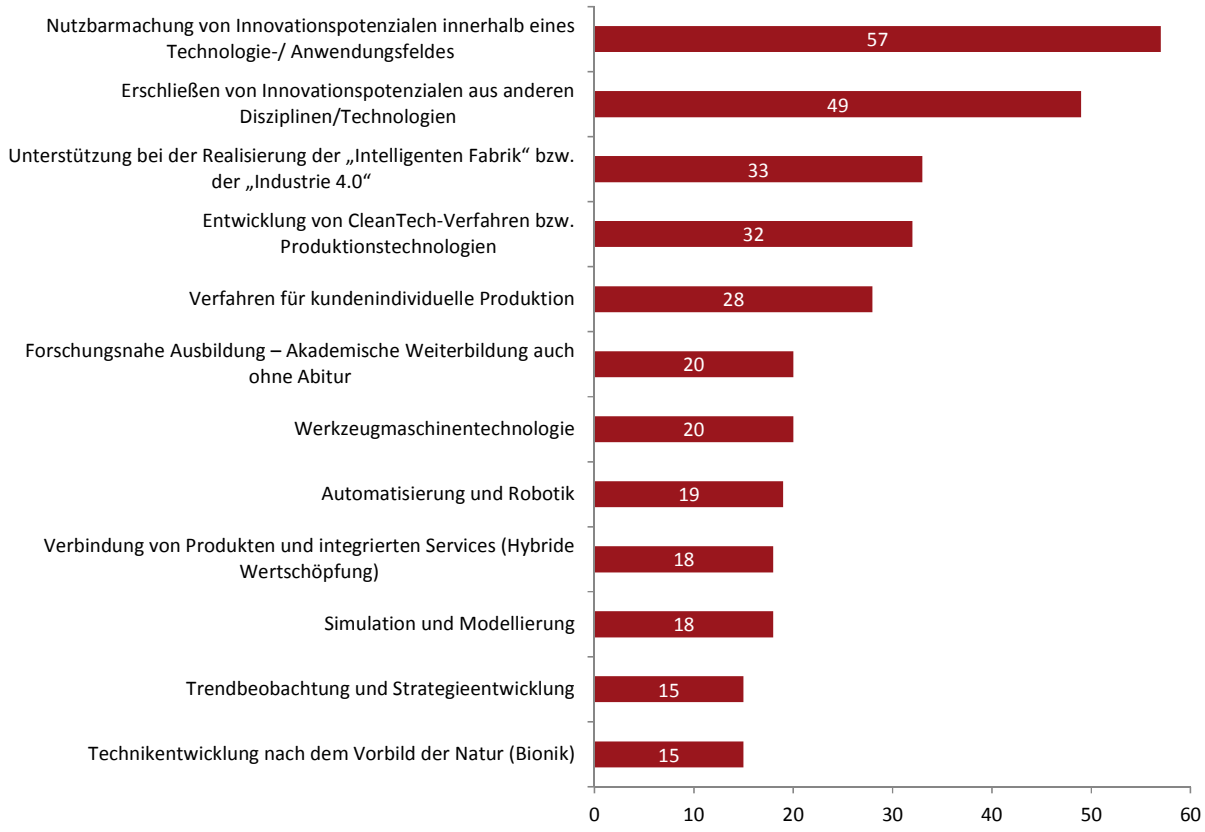


Abbildung 11: Welche Themen und Inhalte könnten aus Sicht Ihres Unternehmens im Sinne einer inhaltlichen Klammer den neuen Campus prägen? Welche Relevanz haben aus Ihrer Sicht die nachfolgenden Themen. Ergebnisse aus einer Unternehmensbefragung in der Region Hannover vom August/September 2013. Die höchste Priorität wurde mit drei Punkten, die zweithöchste mit zwei und die dritthöchste mit einem Punkt gewichtet. X-Achse = Anzahl Punkte. N = 69 (Quelle: Bovenschulte et al. 2014, S. 72).

Um die Erwartungen der Unternehmen an die zu behandelnden Themen und Inhalte eines Forschungscampus Hannover-Garbsen zu ermitteln, wurden auch diese anhand einer vorgegebenen Auswahl abgefragt (Abbildung 11). An erster Stelle stehen hier die Nutzbarmachung von Innovationen im eigenen Technologie- bzw. Anwendungsfeld unter Erschließung neuer Potenziale aus anderen Technologien oder Disziplinen. Als wichtigstes Fachthema wird die Realisierung der „intelligenten Fabrik“ bzw. „Industrie 4.0“, genannt (Bovenschulte et al. 2014). Auffällig ist, dass das Thema „Automatisierung und Robotik“ bei den befragten Unternehmen eine untergeordnete Rolle spielt; ein Umstand, der mit Blick auf die attestierte Wichtigkeit des Themas „Industrie 4.0“ nicht selbsterklärend ist.

Vor diesem Hintergrund wurde zur vertiefenden Analyse des regionalen Entwickler- und Anwenderpotenzials eine Unternehmensdatenbank aufgebaut. In einem ersten Schritt konnten 390 Unternehmen aus der Region Hannover identifiziert werden, die aufgrund ihrer Innovations- und Forschungsstärke in besonderer Weise für die Anwendung von Robotik-Lösungen prädestiniert sind. Die Innovations- und Forschungsstärke wurde z. B. über hohe FuE-Investitionen, Preise für Innovation, eine hohe Exportorientierung oder die Marktführerschaft in einem bestimmten Branchenschwerpunkt, die Beteiligung an Verbundforschungsprojekten oder bestimmte Patentierungen ermittelt. Das regionale Anwenderpotenzial umfasst folglich eine Reihe von Unternehmen unterschiedlichster Wirtschaftszweige, die grundsätzlich Schnittstellen für die Integration von adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme in ihre Wertschöpfungsprozesse aufweisen. Das auf diese Weise ermittelte regionale Anwenderpotenzial ist keine geschlossene Liste und kann kontinuierlich um weitere Unternehmen ergänzt werden. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft und der damit einhergehenden zunehmenden Durchdringung der Lebens- und Arbeitswelten mit intelligenten Maschinen und adaptiven Systemen wird sich das Unternehmenspotenzial für die Anwendung von Robotik-Lösungen ohnehin weiter erhöhen.

Auch wenn die Liste der (potenziellen) Anwender von Robotik-Lösungen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, ermöglicht sie dennoch vertiefende Einblicke in die regionale Verteilung sowie bestimmte Strukturmerkmale der ermittelten Unternehmen. In Abbildung 12 wurde das regionale Anwenderpotenzial kartographisch aufbereitet. Analog zu den wissenschaftlichen Potenzialen ist eine Konzentration in der Stadt Hannover (201 Unternehmen) sowie Langenhangen (19 Unternehmen) und Garbsen (13 Unternehmen) festzustellen, was zunächst einmal wenig überrascht. Es ist allerdings auch erkennbar, dass sich die Unternehmen über alle Städte und Gemeinden der Region Hannover verteilen. Zudem sind kleinere Ansammlungen von potenziellen Anwender-Unternehmen auch außerhalb der Stadt Hannover erkennbar, z. B. in Wedemark (12 Unternehmen), Isernhagen (9 Unternehmen), Springe (9 Unternehmen) oder Wunstorf (8 Unternehmen). Rund die Hälfte der identifizierten Unternehmen wurde in den letzten 35 Jahren gegründet, wobei in der jüngeren Vergangenheit Ausschläge in den Jahren 2007 (10 Neugründungen) und 2008 (16 Neugründungen) sowie im Jahr 2012 (12 Neugründungen) zu verzeichnen sind. Neben dem Alter variiert auch die Größe der identifizierten Unternehmen deutlich zwischen einer einstelligen Zahl an Mitarbeitern und Großunternehmen mit mehreren tausend Beschäftigten.

Von besonderem Interesse ist die Verteilung der identifizierten Unternehmen auf verschiedene Wirtschaftszweige, denn dadurch können Segmente der regionalen Wirtschaft identifiziert werden, die ein besonders hohes Potenzial für cross-sektorale Innovationen beim Einsatz von adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme aufweisen. Schwerpunkte des Anwenderpotenzials bilden Industrieunternehmen (v. a. Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren sowie Herstellung von sonstigen elektronischen Bauelementen) sowie Akteure aus dem medizinischen Bereich (v. a. Herstellung von medizintechnischen Apparaten und Materialien sowie Herstellung von pharmazeutischen Spezialitäten und sonstigen pharmazeutischen Erzeugnissen) und dem Baugewerbe. Die hohen Anwendungspotenziale für Robotik-Lösungen in der Industrie sind allgemein bekannt und kein besonderes Alleinstellungsmerkmal der Region Hannover. Für die Herausbildung eines spezifischen regionalen Kompetenzprofils im Bereich der Robotik ist vor allem interessant, dass analog zu den wissenschaftli-

chen Kooperationen, die sich mit der Erforschung von Anwendungsfeldern adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme in der Medizin befassen, ein Schwerpunkt der unternehmerischen Anwenderpotenziale im Bereich der Medizintechnik identifiziert werden kann. Im Sinne einer „intelligenten Spezialisierung“ könnten strukturpolitische Ansätze verfolgt werden, die eine Förderung regionalspezifischer Entwicklungspotenziale forcieren. Statt der Adaption erprobter, aber gegebenenfalls nicht übertragbarer Entwicklungsstrategien aus anderen Regionen, werden bei einem solchen Ansatz verstärkt individuelle Strategien zur Hebung der regionalen Robotik-Potenziale konzipiert Dies könnte bspw. eine Fokussierung von Förderinstrumenten auf regionale Stärken und Alleinstellungsmerkmale wie die Medizintechnik zur Folge haben.

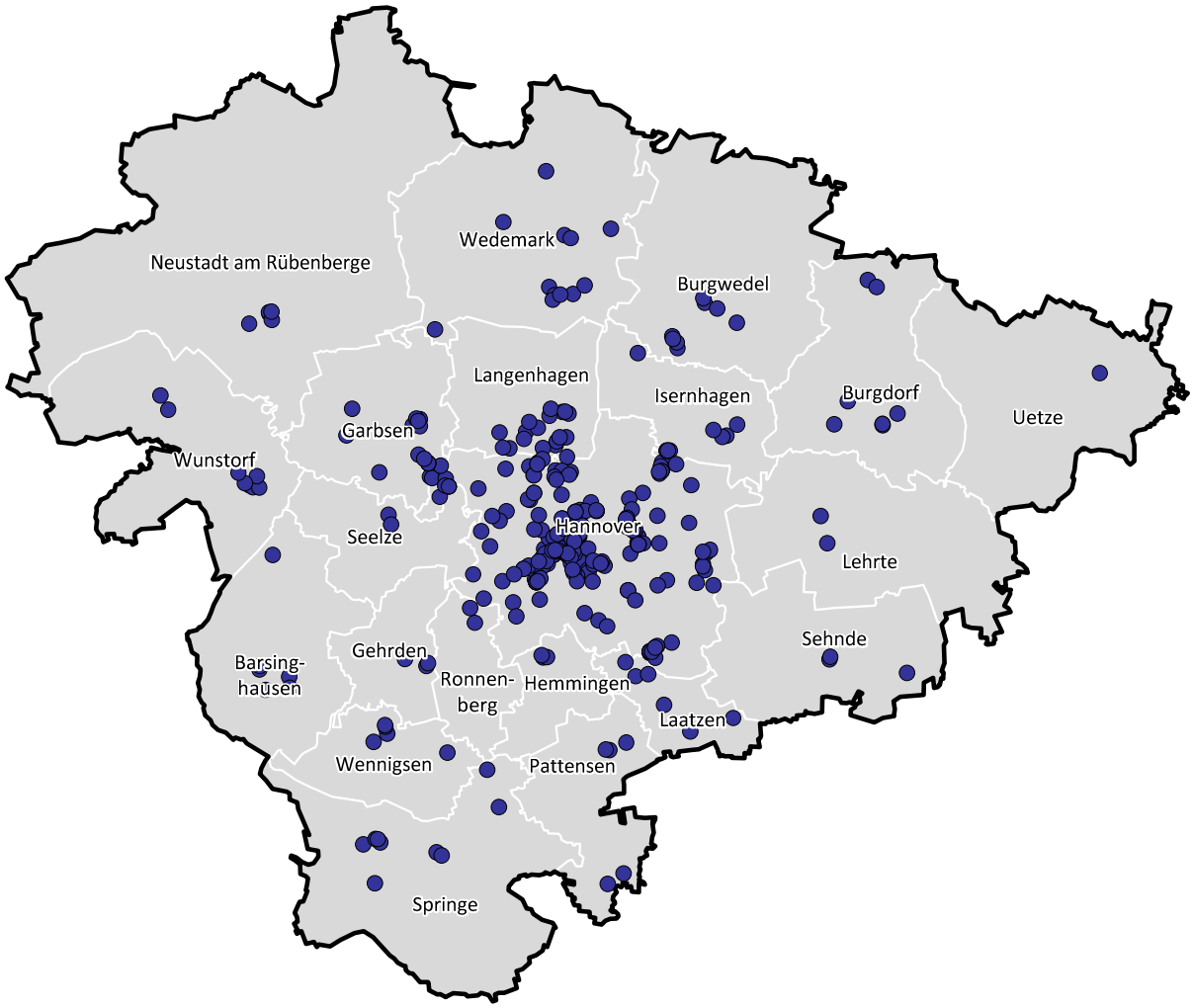


Abbildung 12: Anwenderpotenzial in der Region Hannover. Regionale Unternehmen, die aufgrund ihrer Innovations- und Forschungsstärke in besonderer Weise für die Anwendung von Robotik-Lösungen prädestiniert sind.

Neben dem Anwenderpotenzial werden auch die regionalen Entwickler von Robotik-Lösungen vertiefend analysiert. Zu diesem Zweck wurden die spezifischen Kompetenzprofile und Produktpaletten der 390 (potenziellen) Anwenderunternehmen in einer umfassenden Online- und Datenbank-Recherche geprüft. In diesem Zusammenhang wurden 60 regionale Unternehmen identifiziert, die aufgrund ihrer spezifischen Kompetenzprofile das Potenzial für die Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen oder bereits mit eigenen Produkten am Markt vertreten sind. Dabei wurden auch Unternehmen berücksichtigt, die sich mit ihrem Know-how in die Wertschöpfungskette bei der Entwicklung ganzheitlicher Robotik-Systeme einbringen (könnten), bei der Entwicklung dieser Systeme allerdings auf Kooperationspartner angewiesen sind. Zudem wurden Unternehmen aufgenommen, die derzeit zwar nicht als Anbieter von Robotik-Lösungen in Betracht kommen, für die Optimierung ihrer Wertschöpfungsprozesse jedoch mit eigenen FuE-Aufwendungen an der Entwicklung innovativer Robotik-Lösungen arbeiten. In der Regel handelt sich bei letzteren um große Industrieunternehmen.

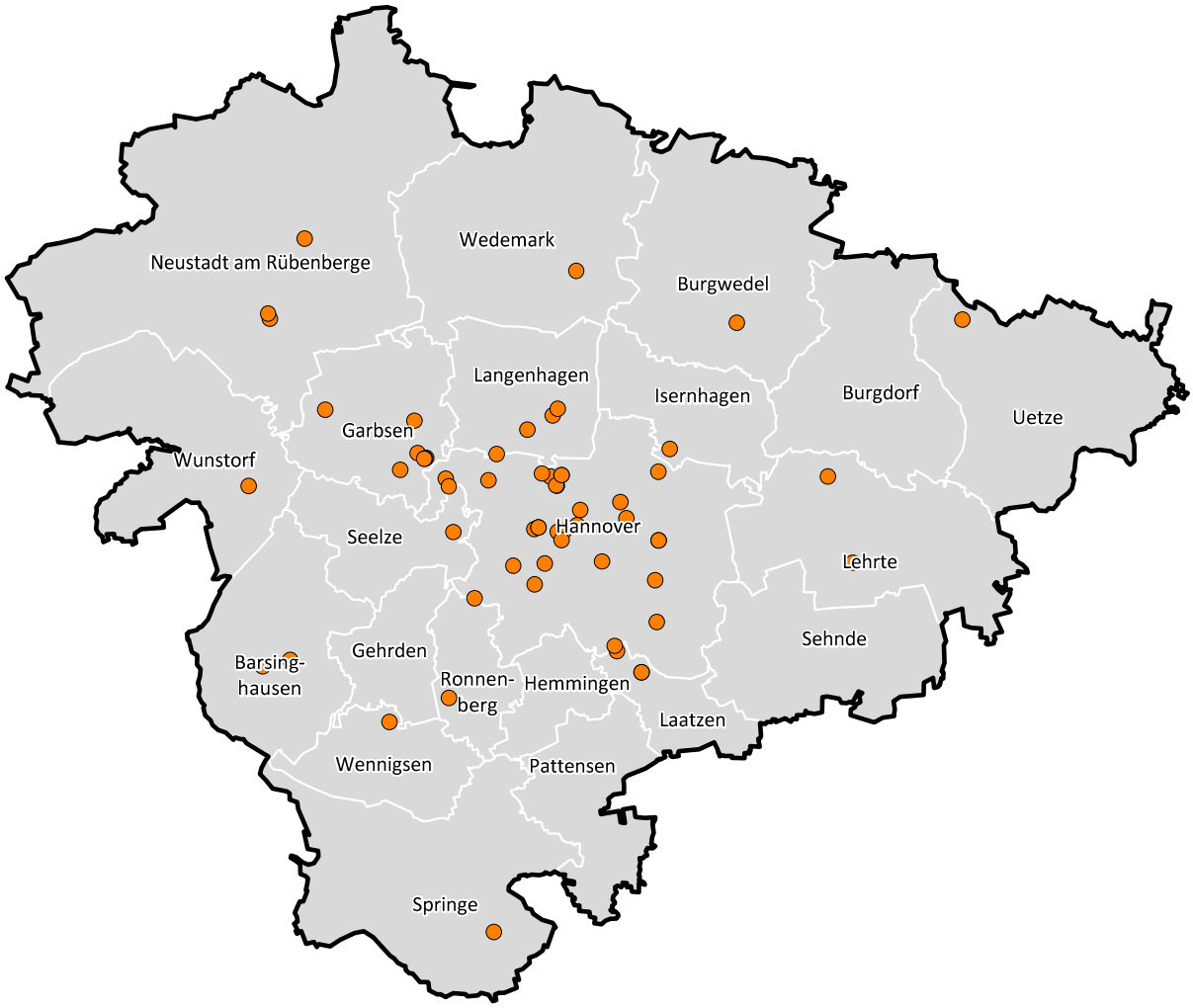


Abbildung 13: Anbieterpotenzial in der Region Hannover. Regionale Unternehmen, die aufgrund ihrer technologischen Kompetenzprofile ein hohes Potenzial für die Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen oder bereits mit eigenen Produkten am Markt vertreten sind.

Die Entwicklerpotenziale in der Region Hannover sind in Abbildung 13 dargestellt. Auch hier ist in den meisten Städten und Gemeinden der Region Hannover zumindest ein Unternehmen zu finden. Schwerpunkte bilden auch bei den Entwicklerpotenzialen die Stadt Hannover (30 Unternehmen), Garbsen (7 Unternehmen) und Langenhagen (4 Unternehmen). Ein Großteil der Unternehmen, bei denen ein Potenzial für die Entwicklung von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen besteht, sind dem Verarbeitenden Gewerbe zuzurechnen (u. a. der Herstellung von Maschinen sowie elektrischen Geräten und Geräten der Unterhaltungselektronik). Einen weiteren Schwerpunkt des Entwicklerpotenzials bilden Unternehmen aus dem Bereich IT-Dienstleistungen und Softwareentwicklung sowie der Forschung und Entwicklung im Bereich Natur-, Ingenieur-, Agrarwissenschaften und Medizin.

Exemplarisch werden einige Unternehmen genannt, deren technologische Kompetenzprofile und Produktportfolios Anknüpfungspunkte für die Entwicklung von Robotik-Lösungen bieten:

- **Dream Chip Technologies GmbH, Garbsen** (u. a. Kompetenzen hinsichtlich Kameratechnik → relevant für Umfelderfassung bei Mensch-Maschine-Interaktion; Kompetenzen bei der Datenübertragung → relevant für Einbindung in Roboterperipherie)

- **Johnson Controls Autobatterie GmbH & Co. KGaA, Hannover** (u. a. Kompetenzen im Bereich Batterietechnologien → relevant für mobile Robotik)

- **MC Technologies GmbH, Hannover | INSIDE M2M GmbH, Garbsen** (u. a. Kompetenzen bei der Datenübertragung → relevant für Einbindung in Roboterperipherie)

- **Viscom AG, Hannover** (u. a. Kompetenzen hinsichtlich Bildverarbeitung → relevant für Umfelderfassung bei Mensch-Maschine-Interaktion; Kompetenzen im Bereich der Handhabung → relevant für Handling-Systeme)

- **WABCO GmbH & Co. OHG, Hannover | Volkswagen Nutzfahrzeuge, Hannover | Götting KG, Lehrte | Continental Automotive GmbH, Hannover** (u. a. Kompetenzen hinsichtlich der Automatisierung von Serienfahrzeugen → relevant für Umfelderfassung bei Mensch-Maschine-Interaktion)

Mit Blick auf die regionalen Entwicklerpotenziale existieren somit zwar einige hochinnovative Unternehmen, die autonome Systeme entwickeln und anbieten, aber regionale Hersteller von Komplettsystemen der Robotik sind in der Region nicht zu finden. Trotz der umfassenden wissenschaftlichen Kompetenzen im Bereich der Robotik, bleibt das wirtschaftliche Potenzial der Region Hannover bei der Entwicklung von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen hinter anderen deutschen Standorten zurück (v. a. im Süden und Südwesten). Regionale Initiativen zur Unterstützung von Innovationen im Bereich der Robotik sollten deshalb nicht nur darauf abzielen, den Wissensaustausch und Technologietransfer innerhalb der Region zu befördern, sondern auch die Unterstützung von Robotik-Start-ups und die Ansiedlung neuer Unternehmen im Blick haben. Zudem gilt es, eine enge Einbindung der regionalen Kompetenzträger in nationale und internationale Wissensnetzwerke sicherzustellen, um auf technologische Innovationen frühzeitig reagieren zu können. In Kapitel 5.2 werden deshalb die Kooperationsstrukturen der regionalen Akteure näher beleuchtet.

## 5.2 Kooperationsstrukturen

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Qualität von Kooperationsnetzwerken von maßgeblicher Bedeutung für den wirtschaftlichen Erfolg einer Region ist. Mit der steigenden Bedeutung des Wissens als wichtigster Ressource einer innovationsgetriebenen Wirtschaftsentwicklung wird auch die Zusammenarbeit in formellen und informellen Netzwerken und Forschungskooperationen zunehmend bedeutsam. Themenstellungen wie das Wissensmanagement und die Wissensvernetzung gewinnen an Relevanz. Vertrauen, Reziprozität und Reputation werden als die entscheidenden Determinanten für einen erfolgreichen Wissensaustausch angesehen (vgl. Strambach 2011; Sukowski 2002; Genosko 1999).

Reichhaltige Wissensflüsse und Interaktionen stellen die Voraussetzungen für Innovationen und regionale Lernprozesse dar. Neben dem expliziten Wissen, das kodifizierbar und so ohne Probleme übertragbar ist, sofern eine entsprechende „Absorptionskapazität“ gegeben ist, wird jedoch vor allem dem impliziten Wissen eine große Bedeutung für die Erzeugung nachhaltiger Wettbewerbsvorteile beigemessen. Dieses so genannte „tacit knowledge“ ist im Gegensatz zum expliziten Wissen an Personen gebunden und kann weitgehend nur durch direkte „face-to-face“ Interaktionen ausgetauscht werden (Siebel 2015; Brandt 2014; Strambach 2011; Franz 2002).

Eine Erweiterung hat das Konzept der räumlichen Nähe durch das Konzept der relationalen Nähe gefunden, wobei Nähe dabei umfassend, d. h. neben räumlicher Nähe auch als kognitive, gesellschaftliche, organisatorische und institutionelle Nähe verstanden wird (Thierstein, Wiese 2011). Wissen wird demzufolge erst im Austausch zwischen Menschen geschaffen, welche sich sowohl räumlich als auch in Netzwerken nahe und vertraut sind und zu diesem Austausch auch bereit sowie in der Lage sind: Räumliche und relationale Nähe spielen sich somit je nach Technologie- und Handlungsfeld gegenseitig und komplementär in die Hände. Eine enge Einbindung in enge regionale sowie überregionale und internationale Wissensnetzwerke stellt somit einen wichtigen Baustein für eine hohe Innovationsfähigkeit dar – dies gilt insbesondere für Unternehmen, die in hoch innovativen und sich schnell wandelnden Kompetenzfeldern wie der Robotik aktiv sind.

Zur Darstellung der regionalen und überregionalen Kooperationsverflechtungen erfolgt eine Auswertung von Netzwerkdaten, die im Rahmen einer aktuellen Studie zur Wissensvernetzung in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg erhoben wurden (vgl. Brandt et al. 2016). In diesem Zusammenhang wurden die Kooperationsbeziehungen von rund 440 Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen erfasst und ausgewertet (primärstatistische Netzwerkanalyse). Durch Passivnennungen umfasst die Gesamtzahl der in der Netzwerkanalyse erfassten Institutionen aus der Metropolregion 1.127 Akteure.

Die Anwendung der Netzwerkanalyse auf regionalwirtschaftliche Fragestellungen erlaubt es, die Vernetzung im regionalen Rahmen akteursbezogen sowie in sektoral oder regional vergleichender Form herauszuarbeiten. Dabei werden die bestehenden Kooperationsbeziehungen im Bereich der innovationsrelevanten Wissensvernetzung zwischen Wirtschaft und Wissenschaft systematisch ausgewertet. Neben Aussagen über das Ausmaß bzw. die Intensität der Netzwerkbeziehungen in der Region und in den einzelnen Kompetenzfeldern können isolierte oder fokale Akteure (zentrale Knotenpunkte) identifiziert werden. Auf diese Weise wird es möglich, die spezifischen Stärken oder auch Defizite der regionalen Vernetzungsstrukturen zu analysieren. Über Vergleiche der individuellen Netzwerkpositionen und -konstellationen hinaus, können außerdem Vergleiche zwischen verschiedenen Kompetenzfeldern angestellt werden.

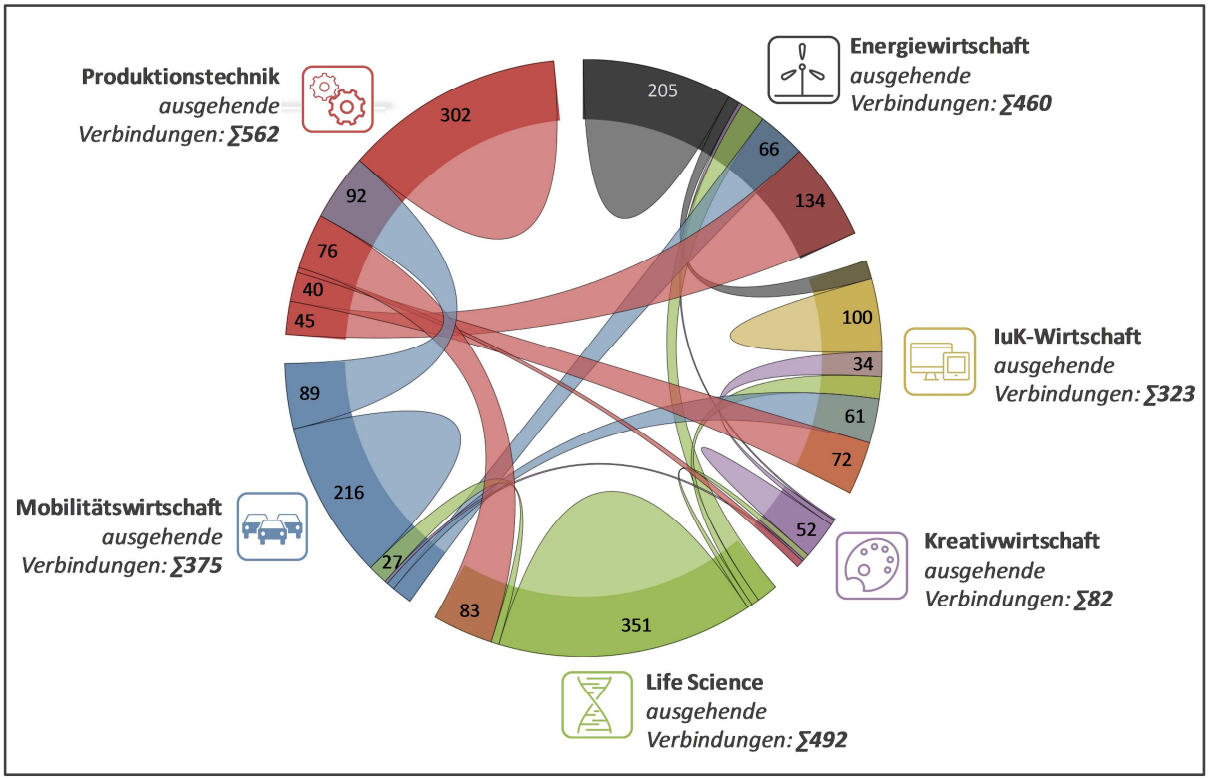


Abbildung 14: Vernetzung in sechs Kompetenzfeldern in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg

In Abbildung 14 werden die Kooperationsverflechtungen zwischen sechs Kompetenzfeldern in der Metropolregion illustriert. Die Grafik veranschaulicht die kompetenzfeldübergreifenden Netzwerkaktivitäten in der Metropolregion anhand der Zahl der Verbindungen. Die absolute Summe der ausgehenden Verbindungen je Kompetenzfeld wird durch den Anteil am Kreisumfang visualisiert. Gemessen an dieser Summe werden die Anteile der ausgehenden Verbindungen in andere Kompetenzfelder abgetragen. Die Farbgebung der Verbindungsachsen richtet sich nach dem Kompetenzfeld, aus welchem die vergleichsweise kleinere Anzahl an Verbindungen ausgeht.

Bei der Betrachtung der Netzwerkaktivitäten zwischen den Kompetenzfeldern ist zunächst festzustellen, dass die einzelnen Felder im unterschiedlichen Maß mit anderen Disziplinen im Austausch stehen. Die für die Entwicklung von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen besonders wichtigen Kompetenzfelder IuK-Wirtschaft sowie Produktionstechnik weisen vergleichsweise viele Verbindungen in andere Kompetenzfelder auf. Dieser Befund ist insofern interessant, dass sogenannten Schnittstellenakteuren eine besondere Bedeutung für das regionale Innovationssystem zugeschrieben wird. So wird in der Innovationsforschung postuliert, dass bedeutsame Innovationen vor allem an den Überlappungsbereichen verschiedener Disziplinen bzw. Kompetenzfelder entstehen. Dies wird damit begründet, dass die Akteure hier zwar noch genug Anknüpfungspunkte zueinander haben, um fruchtbare Kooperationen durchführen zu können, an dieser Stelle aber auf der anderen Seite interdisziplinäres, neues Wissen und neue Sichtweisen einfließen, die besonders innovative Ergebnisse ermöglichen (vgl. van Oort et al. 2014; Boschma et al. 2012; Mameli et al. 2012). Daraus lässt sich schließen, dass von einer weiteren Entwicklung der Robotik (und damit einhergehend der Kompetenzfelder IuK-Wirtschaft und Produktionstechnik) das gesamte regionale Innovationssystem durch cross-sektorale Vernetzungsaktivitäten profitieren könnte.

Vor diesem Hintergrund wurden die Kooperationsverflechtungen der beiden Kompetenzfelder IuK-Wirtschaft und Produktionstechnik einer vertiefenden Analyse unterzogen. In den Abbildungen 15 und 16 sind alle Akteure der IuK-Wirtschaft und der Produktionstechnik aus der Region Hannover sowie deren Vernetzungsaktivitäten dargestellt. Während Abbildung 15 dabei den Fokus auf die Verflechtungen innerhalb der Region Hannover legt, werden in Abbildung 16 die Kooperationsbeziehungen der regionalen Akteure mit Kompetenzträgern aus dem gesamten Bundesgebiet dargestellt. Den Abbildungen sind zudem Informationen über die Art des Akteurs, dessen aktive oder passive Teilnahme an der Befragung sowie die Form der Kooperationsbeziehung (strategische Kooperation, punktuelle Kooperation, Ausbildungskooperation) zu entnehmen.

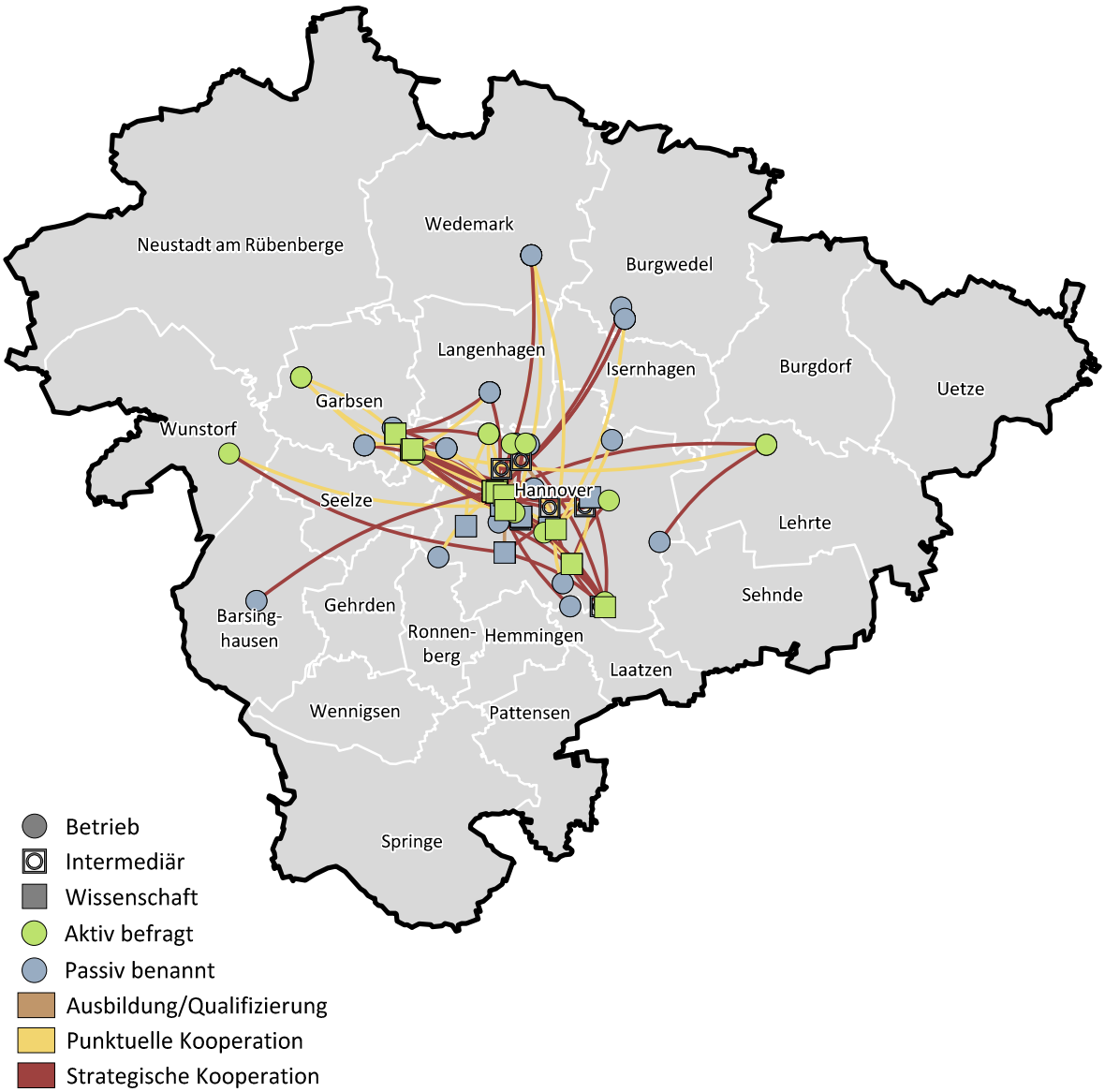


Abbildung 15: Verteilung und Vernetzungsstruktur der Netzwerkakteure in der Region Hannover in den Kompetenzfeldern Produktionstechnik und IuK-Wirtschaft

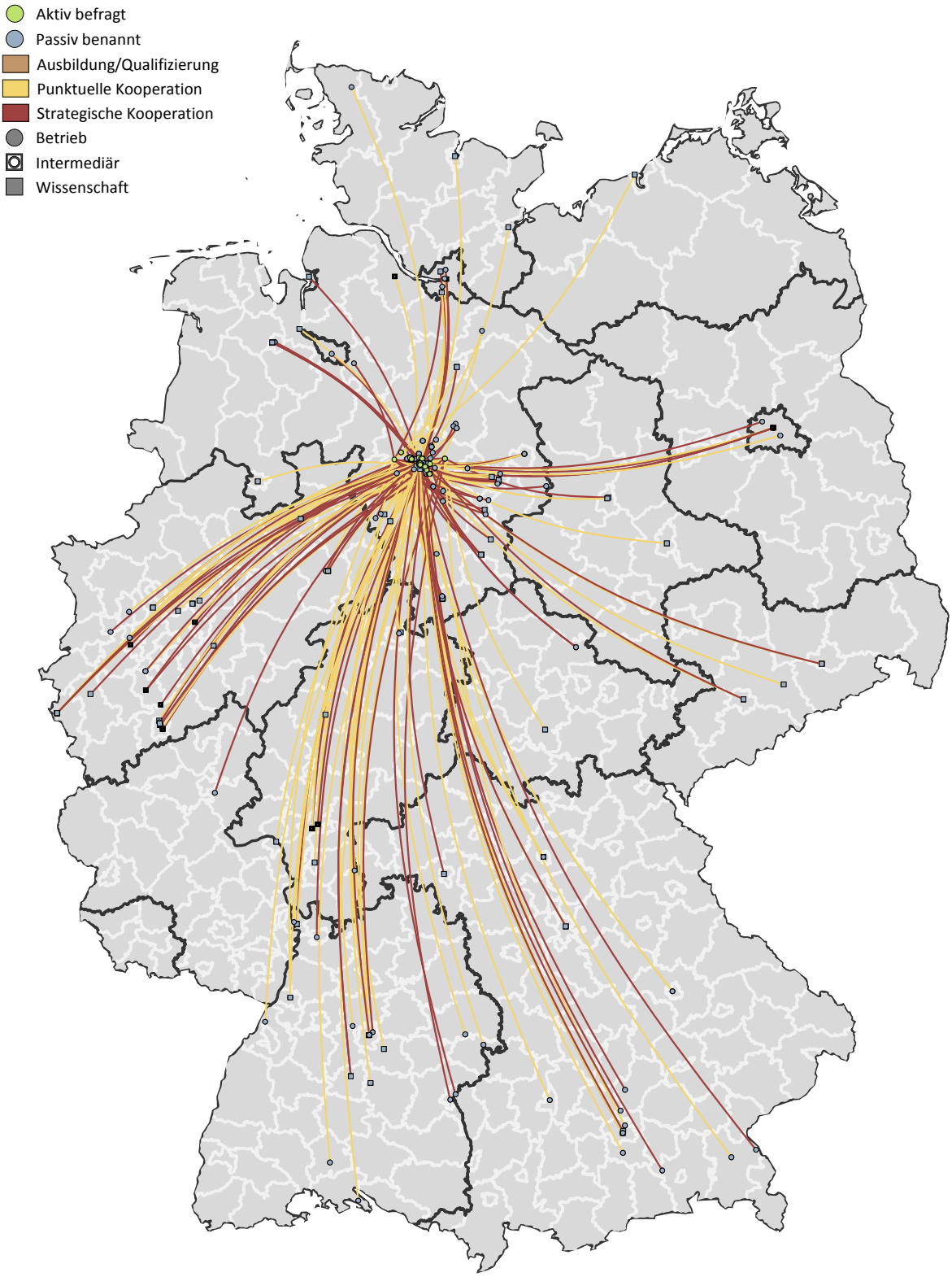


Abbildung 16: Verteilung und Vernetzungsstruktur der Netzwerkakteure aus der Region Hannover in den Kompetenzfeldern Produktionstechnik und IuK-Wirtschaft

Die vertiefende Analyse der Kooperationsverflechtungen von Akteuren der IuK-Wirtschaft sowie der Produktionstechnik führt zu den folgenden zentralen Erkenntnissen:

- Ausgehend von der IuK-Wirtschaft stellt die Produktionstechnik das Kompetenzfeld dar, in welches die meisten der kompetenzfeldübergreifenden Kooperationen verlaufen. Die Produktionstechnik weist auch in andere Kompetenzfelder wie die Mobilitätswirtschaft oder den Life Science-Bereich eine große Zahl an kompetenzfeldübergreifenden Kooperationen auf.

- Die Wissensvernetzung im Kompetenzfeld IuK-Wirtschaft zeichnet sich durch einen sehr hohen Verbindungsgrad zwischen Wissenschaft und regionaler Wirtschaft aus. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass es sich bei den Kooperationen überwiegend um anwendungsorientierte Forschung handelt. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, dass einige der Kooperationsprojekte einen Bezug zur Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen.

- Das Kompetenzfeld IuK-Wirtschaft ist darüber hinaus stark internationalisiert. Der hohe Internationalisierungsgrad ist vor allem durch die starke Einbindung wissenschaftlicher Akteure in internationale Netzwerke bedingt. Vor diesem Hintergrund könnte die Intensivierung der internationalen Kooperationen regionaler IuK-Unternehmen einen wichtigen Beitrag zur Positionierung der Region als Zukunftsstandort der Digitalen Wirtschaft leisten.

- Das Kompetenzfeld Produktionstechnik zeichnet sich durch eine hohe Netzwerkzentralität aus, d. h. dass einige zentrale Netzwerkakteure durch eine besonders große Zahl an Verbindungen für das Netzwerk strukturprägend sind. Durch den zunehmenden Einsatz von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen im industriellen Bereich und einer damit einhergehenden verstärkten Vernetzung mit IT-Dienstleistern und Anbietern von Robotik-Lösungen könnten sich die Austauschbeziehungen produktionstechnischer Betriebe noch einmal intensivieren.

- Auch im Kompetenzfeld Produktionstechnik sind die Betriebe und die wissenschaftlichen Einrichtungen stark miteinander vernetzt. Die Kooperationspartner der produktionstechnischen Betriebe sind vor allem auf regionaler Ebene zu finden. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass bei der Einbindung der regionalen Unternehmen in überregionale und internationale Wissensnetzwerke durchaus noch Entwicklungspotenziale bestehen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die für die Entwicklung von Robotik-Lösungen besonders wichtigen Akteure aus den Kompetenzfeldern IuK-Wirtschaft sowie Produktionstechnik grundsätzlich gute Vernetzungsqualitäten aufweisen. Vielversprechend ist insbesondere der Befund, dass beide Wirtschaftszweige eine große Zahl an kompetenzfeldübergreifenden Kooperationen aufweisen. Dies ist eine wichtige Grundlage für cross-sektorale Innovationen und die Diffusion von Robotik-Lösungen in angrenzende Wirtschaftssegmente wie die Medizintechnik oder die Automobilwirtschaft. Durch eine Ausweitung der überregionalen Verflechtungen, insbesondere der produktionstechnischen Betriebe, könnte die regionale Innovationskraft noch einmal erhöht werden. Empfehlenswert erscheint eine solche Vernetzungsstrategie auch vor dem Hintergrund, dass der regionale Besatz mit Unternehmen, deren spezifische Kompetenzprofile das Potenzial für die Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen, bislang noch relativ gering ist (vgl. Kapitel 5.1 Regionale Entwickler- und Anwenderpotenziale). Durch eine Intensivierung der Kooperationen mit Unternehmen, die bereits mit ganzheitlichen Robotik-Lösungen am Markt vertreten sind, könne weiteres Spezialisten-Know-how für die regionalen Akteure nutzbar gemacht werden.

In diesem Zusammenhang gilt es zu prüfen, welche anderen Standorte in Deutschland für eine Intensivierung des Wissensaustausches in Frage kommen und welche bestehenden Kooperationsachsen

zu verfestigen sind. Ansatzpunkte für Kooperationsprojekte bei der Entwicklung von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen bieten sich bspw. mit Akteuren aus der Region Braunschweig/Wolfsburg (v. a. in den Bereichen Automobilwirtschaft und Industrieautomation) oder Ostwestfalen (Intelligente technische Systeme - It's OWL). Durch eine solche Stärkung der FuE-Verbindung ins direkte Umfeld der Region Hannover könnten auch Kompetenzträger des zweiten Rings wie Phoenix Contact oder die Lenze-Gruppe noch intensiver in die regionalen Innovationsprozesse eingebunden werden. Darüber hinaus bieten sich weitere Standorte als strategische Partner an, z. B. der Raum Göttingen (v. a. in den Bereichen Medizintechnik, Messtechnik und Sensorik), Bremen (insbesondere das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz DFKI sowie die Bereiche Aerospace und Maritime Wirtschaft) oder Berlin (v. a. in den Bereichen Medizintechnik und Elektronik). Abbildung 16 verdeutlicht, dass in einen Teil dieser Räume bereits Verbindungen bestehen, die Anknüpfungspunkte für den Ausbau strategischer Kooperationsachsen bieten könnten.

## 5.3 Zwischenfazit

Während die Region Hannover sehr hohe wissenschaftliche Potenziale im Bereich von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen vorweisen kann, ergibt sich mit Blick auf die regionale Unternehmenslandschaft ein geteiltes Bild. Grundsätzlich ist eine kritische Masse an (potenziellen) Anwenderunternehmen von Robotik-Lösungen vorhanden. Teilweise handelt es sich dabei um große industrielle Betriebe, die auch mit eigenen FuE-Kapazitäten an der Entwicklung von intelligenten Systemen zur Optimierung ihrer Wertschöpfungsprozesse arbeiten. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von regionalen Unternehmen, die aufgrund ihrer spezifischen Kompetenzprofile das Potenzial für die Entwicklung von (Teil-) Lösungen der Robotik aufweisen (z. B. Datenübertragung, Kameratechnik und Bildverarbeitung, Batterietechnologie, Automatisierung etc.). Der Besatz mit (potenziellen) Entwicklern von robotischen Systemen bietet im Vergleich zu anderen Regionen jedoch noch Entwicklungspotenziale. Zudem ist in der Region Hannover kein Unternehmen ansässig, das mit ganzheitlichen Lösungen aus dem Bereich der Robotik am Markt vertreten ist.

Auch die Industriepartner der regionalen Robotik-Experten an den Hochschulen haben ihren Firmensitz in den meisten Fällen an anderen Standorten in Deutschland oder im Ausland. In den Expertengesprächen wurde deutlich, dass seitens der Wissenschaft durchaus Interesse an einer Intensivierung der Austauschbeziehungen mit regionalen Unternehmen besteht, häufig weisen die Forschungsschwerpunkte der Robotik-Experten jedoch einen sehr hohen Spezialisierungsgrad auf, was die Suche nach geeigneten Unternehmenspartnern auf regionaler Ebene erschwert. Von den Gesprächspartnern wurde auch darauf hingewiesen, dass viele hochqualifizierte Nachwuchskräfte nach Abschluss ihres Studiums oder ihrer Promotion die Region Hannover verlassen. Andere Absolventen wechseln zwar zu regionalen Industrieunternehmen, haben dort in vielen Fällen jedoch nicht die Möglichkeit, ihr hochspezialisiertes Robotik-Know-how zum Einsatz zu bringen, da seitens der Unternehmen derzeit vorrangig „normale" Ingenieurstätigkeiten nachgefragt werden. Einige regionale Experten sehen darin einen vermeidbaren und deshalb besonders bedauerlichen Verlust an innovativem Potenzial. Als wirkungsvolle Reaktion darauf wird vor allem der weitere Ausbau der regionalen Start-up-Förderung vorgeschlagen. Diese sollte bereits in der Ausbildung ansetzen und die Studierenden mit dem notwendigen Know-how zur Firmengründung ausstatten. In der Startphase gilt es, geeignete infrastrukturelle und organisatorische Unterstützungsangebote zur Verfügung zu stellen. Bereits bestehende Angebote und regionale Initiativen werden in Kapitel 7 vorgestellt. Zudem wurde argumentiert, dass Deutschland als Investitionsstandort für Wagniskapital noch nicht optimal aufgestellt ist, was die Gründung von Robotik-Start-ups generell erschwert.

In den Expertengesprächen wurde zudem die These vertreten, dass es sich bei adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen um Querschnittstechnologien handelt, mit denen sukzessive weite Teile von Wirtschaft und Gesellschaft erschlossen werden. Robotische Systeme bieten deshalb ein sehr hohes Potenzial für cross-sektorale Innovationen, insbesondere auch für Unternehmen aus der Region Han-

nover. Ausgehend von bestehenden Kooperationen sowie spezifischen regionalen Kompetenzen wurde der Bereich Medizintechnik/Pflege als eines der zentralen Anwendungsfelder skizziert. Bei der Entwicklung neuartiger Roboterstrukturen und smarter Materialien greifen die wissenschaftlichen Robotik-Experten zudem bereits in aktuellen Forschungsprojekten auf spezifisches materialwissenschaftliches bzw. chemisches Know-how von Kooperationspartnern zurück. Von den Gesprächspartnern wurde darüber hinaus die Agrartechnik als weiteres potenzielles Anwendungsfeld zukünftiger FuE-Kooperationen benannt. Vor diesem Hintergrund könnten Initiativen der Wirtschaftsförderung darauf abzielen, regionalen KMU die Anbahnung und Finanzierung von innovationsorientierten Kooperationsprojekten im Bereich der Robotik zu erleichtern.

Zusammenfassend lassen sich bezüglich der wissenschaftlichen Robotik-Potenziale in der Region Hannover die folgenden zentralen Erkenntnisse skizzieren:

- Die (potenziellen) Entwickler- und Anwenderunternehmen von Robotik-Lösungen verteilen sich über die gesamte Region Hannover. Auch wenn sich das Unternehmenspotenzial in den Städten Hannover sowie Langenhagen und Garbsen konzentriert, sind in den Randbereichen der Region dennoch Ansammlungen entsprechender Unternehmen zu finden.

- In der Region ist kein Unternehmen ansässig, das mit ganzheitlichen Lösungen aus dem Bereich der Robotik am Markt vertreten ist. Allerdings gibt es eine Reihe von Unternehmen, die aufgrund ihrer spezifischen Kompetenzprofile durchaus als Entwickler von (Teil-) Lösungen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme in Frage kommen. Die wissenschaftlichen Kompetenzträger aus der Region kooperieren bei der Entwicklung von Robotik-Lösungen derzeit vorrangig mit Unternehmen, die nicht in der Region Hannover ansässig sind.

- Aufgrund der hohen wissenschaftlichen Potenziale verfügt die Region Hannover über eine Vielzahl an sehr gut ausgebildeten Robotik-Nachwuchskräften, die nach ihrer Ausbildung jedoch in vielen Fällen zu Robotik-Unternehmen außerhalb der Region wechseln. Andere übernehmen zwar Aufgaben in regionalen Unternehmen, sehr häufig wird das Innovationspotenzial ihres spezifischen Robotik-Know-hows dort jedoch nicht voll ausgeschöpft.

- Das wirtschaftliche Robotik-Potenzial in der Region Hannover könnte neben einer Diversifizierung bestehender Unternehmen durch eine gezielte Förderung von Robotik-Start-ups erhöht werden. Auch eine entsprechende Ansiedlungsstrategie ist zu prüfen.

- Netzwerkanalytische Untersuchungen zeigen, dass die für den Themenbereich Robotik sehr wichtigen Kompetenzfelder IuK-Wirtschaft sowie Produktionstechnik vielfältige Kooperationsverflechtungen mit angrenzenden Wirtschaftszweigen aufweisen. Dies schafft eine gute Grundlage für cross-sektorale Innovationen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme.

- Bei der Intensivierung des Wissensaustausches und des Technologietransfers im Bereich der Robotik sollten auch Möglichkeiten zur Verfestigung bzw. zum Ausbau bestehender Kooperationsachsen mit anderen Standorten geprüft werden.

# 6 Fallbeispiele: Start-ups in der Robotik

Angesichts der Tatsache, dass in der Region Hannover einerseits eine umfassende wissenschaftliche Exzellenz im Bereich „Robotik/autonome Systeme“ vorhanden ist, andererseits die wirtschaftlichen Potenziale gerade mit Blick auf die notwendige Modellbildung/Systemintegration und verglichen mit anderen Regionen/Wirtschaftsräumen nicht optimal genutzt werden können, kommt der Frage nach Neugründungen in dieser Thematik eine besondere Aufmerksamkeit zu. Neugründungen können dabei einerseits Unternehmen oder Sparten sein, die aus „traditionellen“ Firmen und deren Geschäftsfeldern hervorgegangen sind, andererseits klassische Startups, die im Regelfall aus einer wissenschaftlichen Einrichtung ausgegründet worden sind, um ein erfolgsversprechendes Forschungsergebnis zu einem Produkt zu entwickeln und zu vermarkten. Die Grundannahme bei der Betrachtung dieses Entwicklungspfades ist, dass es deutlich realistischer ist, in der Region kleine Firmen mit Zukunfts- und Wachstumspotenzial zu unterstützen und zu entwickeln, als etablierte Unternehmen zu einer Ansiedlung zu bewegen.

Bereits heute bietet etwa das MZH den Studierenden neben der technischen Forschung, Entwicklung und Lehre auch Unterstützung für die marktnahe Weiterentwicklung von Ideen/Produkten und die Firmengründung im Rahmen eines Student Accelerator Robotics and Automation Tutoriums:

> „Sie haben eine Idee für ein Produkt oder eine Dienstleistung aus dem Themenfeld Robotik und Automation und wollen diese im Rahmen Ihres Studiums weiter entwickeln? Ziel des Tutoriums ist es, praktische Erfahrungen im Bereich Entrepreneurship zu sammeln. Hierfür bringen Sie (alleine oder im Team) eine konkrete Idee mit, die sie dann während des Tutoriums bis zu einem Prototyp inklusive Businessplan konkretisieren. Da hierbei nicht nur ingenieurswissenschaftliche Aufgaben im Fokus stehen, werden Sie von internen und externen Experten (z. B. starting business, Institut für Unternehmensführung und Organisation der LUH) begleitet, die Ihnen einen Einblick in die Themengebiete agile Entwicklung, Patentwesen, Finanzen, Geschäftsmodell und dergleichen geben“ (Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover 2016c).

Das grundsätzliche Potenzial für studentische Arbeiten mit hohem Praxis- und ggf. auch Ausgründungs- und Geschäftsideebezug ist dabei ohne Frage vorhanden, wie das folgende Beispiel verdeutlicht:

> „Chirurgische Eingriffe werden immer präziser und zunehmend minimalinvasiv durchgeführt. Medizintechnische Systeme sind eine unverzichtbare Voraussetzung für diese Möglichkeiten. Bildgebung, Navigationssysteme und mechatronische Assistenzsysteme müssen den Arzt optimal bei den Interventionen unterstützen. Für die minimalinvasive Cochlea-Implantat-Chirurgie hat sich Jan-Philipp Kobler für einen knochenfixierten, rekonfigurierbaren, parallelkinematischen Roboter entschieden. Dieser wird am Schädel verankert und stellt eine patientenindividuell einstellbare Führung für chirurgische Werkzeuge bereit. Um das System zu optimieren nutzte der Autor Simulationen, bei denen die klinischen Anforderungen an die Kinematik, die Genauigkeit und die Sterilisierbarkeit eine wichtige Rolle spielten. Gemeinsam mit Wissenschaftlern und Chirurgen der Medizinischen Hochschule Hannover realisierte und evaluierte Jan-Philipp Kobler das System.“ (VDE 2016)

Da die Region Hannover im Bereich Robotik-Start-ups nur über vergleichsweise wenige Beispiele verfügt (dabei wird die Automatisierungstechnik bereits mitberücksichtigt), werden in der vorliegenden Studie Firmen aus verschiedenen Teilen Deutschlands exemplarisch betrachtet. Ein herausragendes

Beispiel mit unmittelbarer Beteiligung ist die KBee AG und ihr Produkt FRANKA EMIKA, das im Kapitel 4 „Wissenschaftliche Potenziale der Region Hannover“ vorgestellt wurde.

In Leitfadeninterviews wurden die Geschäftsführer und Gründer der Unternehmen zu Fragestellungen zu Unternehmensführung, Gründungsfaktoren, Produktdetails und Zukunftsperspektiven befragt. Die Ergebnisse der Interviews finden sich im Verlauf dieses Kapitels in vier kurzen Unternehmensportraits. Der Untersuchungsraum wird einerseits aufgespannt durch das Tätigkeitsfeld des Unternehmens, welches von klassischen Komplettpaketen wie beispielsweise der Vollautomatisierung von Seriennutzfahrzeugen (Götting) bis hin zu reinen Softwarelösungen (ArtiMinds) reicht. Andererseits spielte bei der Auswahl der Unternehmen die Firmengeschichte eine wichtige Rolle. In diesem Kontext werden sowohl Start-ups mit einem stark universitären Hintergrund (ArtiMinds GmbH, BionicRobotics GmbH) vorgestellt als auch Unternehmen, die auf eine längere Geschichte zurückblicken und als Pioniere der Robotik eingestuft werden können (Götting KG).

| **Firmenprofil robomotion GmbH** | | |
|---|---|---|
| Fakten | Kontakt | Technologie/Produkt |
| 2003 gegründet<br>23 Mitarbeiter | www.robomotion.de<br>info@robomotion.de<br>+49 711 945426700<br>Maybachstraße 11<br>70771 Leinfelden-Echterdingen | Systemintegration um ein Softwareprodukt |

Das Unternehmen robomotion GmbH wurde 2003 von Andreas Wolf und Steffen Mayer gegründet. Die Idee für eine Gründung entstand aus einer vorhergehenden Tätigkeit bei einem anderen Unternehmen und einer Promotion im Bereich Robotik. Treibende Kraft war das Streben nach Selbstständigkeit sowie der Wunsch, Dienstleistungen im Bereich automatischer Verpackungstechnik zu verbessern. Ideen für eine derartige Dienstleistung mit entsprechender Software und damit für die Firmengründung gaben Messebesuche und Veranstaltungen zur Vernetzung von Akteuren im Bereich Robotik. Auch die Nähe zu anderen Unternehmen am Industriestandort Südwestdeutschland leistete einen Beitrag zum guten Gründungsklima. So konnten in diesem Kontext erste Anforderungen der Industrie an ein neues Produkt ermittelt werden. Zur Finanzierung der ersten Zeit des neuen Unternehmens stand lediglich ein „Überbrückungsgeld“ der Agentur für Arbeit zur Verfügung. Mittlerweile hat das Unternehmen 23 Mitarbeiter, die sich u. a. aus der Vorlesung „Automatisierung in der Montage und Handhabungstechnik“ an der Universität Stuttgart rekrutieren. Die Vorlesung wird von Geschäftsführer Andreas Wolf selbst gegeben und bietet eine hervorragende Möglichkeit, Anforderungen des Unternehmens im universitären Kontext zu präsentieren und gemeinsam mit Studierenden an Problemlösungen zu arbeiten.

Das Unternehmen robomotion GmbH lässt sich nicht auf ein oder mehrere Produkte beschränken. Als Systemintegrator liefert die robomotion eine Reihe von Vernetzungsdienstleistungen um ein Softwarepaket, das in-house ständig weiterentwickelt wird. Als Beispiel ist hier eine Automatisierungslösung für eine Verpackungsstraße anzuführen. Mit dem FlexPicker von ABB realisierte robomotion in diesem Kontext eine Lösung, die weitaus schneller und effizienter arbeitet. Bei einem Produktwechsel sind nun keine mechanischen Einrichtvorgänge mehr notwendig. Lediglich der Roboterarm wird softwareseitig neu programmiert. Als Systemintegrator implementierte robomotion ein derartiges System, das ältere mechanische Komponenten, wie beispielsweise eine Tiefziehmaschine, weiter in Benutzung bleiben können. Die Robotikkomponente fungiert lediglich als Aufsatz auf dem alten System. Das hat natürlich enorme Kostenvorteile für die Kunden von robomotion und sichert dem Unternehmen einen Platz am Markt. In diesem Kontext ist das Unternehmen auch im näheren europäischen Ausland tätig.

Der Zukunft blickt robomotion optimistisch entgegen. Der Bedarf an systemintegratorischen Lösungen wird aufgrund der immer höheren Komplexität im Produktionsgewerbe steigen und erste Schritte auf dem europäischen Markt sind bereits erfolgt.

| Firmenprofil BionicRobotics GmbH | | |
|---|---|---|
| Fakten | Kontakt | Technologie/Produkt |
| 2010 gegründet<br>20 Mitarbeiter<br>Ausgründung TU Darmstadt | www.bionic-robotics.de<br>info@bionic-robotics.de<br>+49 6151 2767285<br>Hilpertstraße 3<br>64295 Darmstadt | Leichtbauroboter BioRob |

Das Unternehmen BionicRobotics GmbH wurde 2010 unter dem Namen BioRob GmbH gegründet. Die Idee für die Vermarktung eines inhärent sicheren Leichtbauroboters entstammt aus dem Verbundprojekt BioRobAssist im Fachgebiet Simulation, Systemoptimierung und Robotik der TU Darmstadt. Zu den Verbundpartnern zählten und zählen außerdem diverse andere Unternehmen, die ihrerseits Expertise in das Verbundprojekt einbringen konnten und potenzielle Einsatzgebiete des Leichtbauroboters aufgezeigt haben. So ergab sich auf der einen Seite ein Wissensinput von Unternehmen bei der Entwicklung des Roboters. Auf der anderen Seite konnte bei anderen Verbundpartnern der Einsatz des Roboters getestet werden. Auch über das Verbundprojekt hinaus kooperiert die Bionic Robotics GmbH mit der TU Darmstadt im Rahmen von studentischen Hilfstätigkeiten und gemeinsamen Forschungsvorhaben, woraus sich interessante Synergieeffekte ergeben. Die Finanzierung wurde in der Anfangsphase durch ein EXIST-Gründerstipendium realisiert. Mittlerweile hat das Unternehmen ca. 20 Mitarbeiter und hat in verschiedenen Finanzierungsrunden zahlreiche Investoren gewinnen können.

Das Ziel bei der Entwicklung des BioRob war es, die Flexibilität des Menschen und die Präzision von Robotern in einem Produkt zu kombinieren. Die bionische Konstruktionsmethode des BioRob Leichtbauroboters ermöglicht seinen Einsatz in der direkten Zusammenarbeit mit Menschen. Dabei bedarf es keiner weiteren Sicherheitsmaßnahmen durch die Mensch und Maschine getrennt werden, wie herkömmlicherweise zum Beispiel durch Lichtschranken oder physikalische Absperrungen. Der Leichtbauroboter ist bauartinhärent und redundant sicher. Bei Unfällen und ungewollten Zusammenstößen geben die elastischen Antriebe des BioRob nach und absorbieren dabei einen Teil der Kollisionsenergie. So kann Isaac Asimovs erstes Robotergesetz „Ein Roboter darf kein menschliches Wesen verletzen.“ von 1942 eingehalten werden.

Wird der Grad an Sicherheit eines Roboters häufig darüber definiert, wie ein starrer Roboter algorithmisch auf seine Umwelt reagiert, erreicht der BioRob die Sicherheit über seine Bauweise, die menschlichen Armmuskeln und Sehnen nachempfunden ist. Die Anwendungsgebiete des BioRob ergeben sich schon durch diese Konstruktionsart überall dort, wo der Mensch-Maschine Kontakt besonders eng ist. So wird er sowohl in der Industrie- als auch in der Laborautomation eingesetzt und erschließt dabei Anwendungsbereiche, in denen bisher kaum automatisierte Lösungen zu finden waren. Die BionicRobotics GmbH strebt einen weiteren Ausbau ihres Geschäfts an. Dabei ist auch eine Expansion der Tätigkeit im internationalen Bereich eine wichtige Option.

| Firmenprofil ReActive Robotics GmbH | | |
|---|---|---|
| Fakten | Kontakt | Technologie/Produkt |
| 2015 gegründet<br>5 Mitarbeiter | www.reactiverobotics.net<br>info@reactiverobotics.net<br>+49 176 64827852<br>Friedrichshafener Str. 1<br>82205 Gilching | Roboter zur Frühmobilisierung von Intensivpatienten |

Die ReActive Robotics GmbH wurde 2015 von Alexander König gegründet. Die Idee für eine Gründung entstand aus einer Promotion und anschließender Postdoc Tätigkeit in Boston mit einem Fokus auf Schlaganfallpatienten im Rehabilitationsbereich. Während seiner Tätigkeit erlebte der Gründer die enorme Wichtigkeit von Frühmobilisierung von Intensivpatienten für ihre Genesung. So ist es bereits möglich, die Patienten nach einem Aufenthalt von nur 24 Stunden auf einer Intensivstation zu mobilisieren, beispielsweise durch Aufrichten oder erste Gehversuche. Der Vorgang der Mobilisierung erfordert normalerweise mehrere Pflegekräfte und kann aufgrund des Personalmangels an Kliniken oft nicht zufriedenstellend durchgeführt werden. Hier setzt das Team von ReActive Robotics an und entwickelt ein robotisch-kollaboratives System, welches - am Krankenbett befestigt - die Pflegerinnen und Pfleger bei der Aufrichtung und Mobilisierung der Patienten unterstützt. Diese innovative Idee wurde gefördert vom Business Incubation Centre Bavaria und erst kürzlich erhielt das Unternehmen u. a. eine Förderung des High-Tech Gründerfonds. Besonders in der Startphase des Unternehmens spielte die BayStartUP GmbH eine wichtige Rolle mit ihrem Angebot an Workshops und Vortragsreihen rund um das Thema Unternehmensgründung. So konnten komplementär zur fachlichen Expertise auch grundlegende Fähigkeiten auf diesem Gebiet aufgebaut werden.

Mittlerweile hat das Unternehmen 5 Mitarbeiter, die sich mit Hilfe von Ausschreibungen an der TU München rekrutieren ließen. In diesem Kontext betont das Unternehmen die Rolle der TU, die einerseits äußerst qualifizierte Studienabgänger und Abgängerinnen liefert und bei den Stellenausschreibungen eine hochfrequentierte Plattform geboten hat, welche kostenlos ist obwohl der Gründer selbst kein Alumni der TU ist. Ähnlich pragmatische Bedingungen wünscht sich der Gründer auch bei Förderrichtlinien, beispielsweise bei dem EXIST Gründerstipendium. Im Fall von ReActive Robotics könnte auf diese Weise Wissen, welches im Ausland erworben wurde, in Deutschland zu einem marktreifen Produkt weiterentwickelt werden.

Bei der Technologie handelt es sich um eine robotische Einheit, die am Krankenbett der Patienten befestigt die Pflegerinnen und Pfleger bei der Aufrichtung und Mobilisierung der Patienten unterstützt. Patienten können auf diese Weise von nur einer Pflegekraft mobilisiert werden. Für die Patienten hat das den Vorteil einer frühzeitigen und gesicherten Mobilisierung und folglich einen schnelleren Genesungsprozess. Im Vordergrund steht für das Team der ReActive Robotics derzeit die Weiterentwicklung des bereits existierenden Demonstrators hin zu einem test- und zulassungsfähigen Produkt bis 2018.

Ziel des Unternehmens ist es, die Zulassung des Produkts möglichst schnell zu erreichen und damit die Marktfähigkeit zu erlangen. Der Zugang zu verschiedenen Märkten - national und international - wird dabei maßgeblich bestimmt von der Zulassung des Produkts.

| Firmenprofil Götting KG | | |
|---|---|---|
| Fakten | Kontakt | Technologie/Produkt |
| 1965 gegründet<br>51 Mitarbeiter<br>Inhabergeführtes Familien-unternehmen | www.goetting.de<br>info@goetting.de<br>+49 5136 80960<br>Celler Straße 5<br>31275 Lehrte | Systeme für die Automatisierung von Seriennutzfahrzeugen |

Das Unternehmen Götting KG wurde 1965 gegründet und ist seither ein lokal ansässiger inhabergeführter Player im High-Tech Bereich. Das Produktportfolio deckte zum Zeitpunkt der Gründung den Amateurfunkbereich ab. Schritt für Schritt eroberte das Unternehmen weitere Märkte in der Automatisierungs- und Messtechnik in den 1980er Jahren bis hin zur Gründung der Abteilung FOX „Automatic Guiding Solutions“ im Jahr 2000, die sich der Aufgabe widmet, Seriennutzfahrzeuge zu automatisieren.

Schon in den 1980er Jahren spielte die Kooperation mit anderen Unternehmen innerhalb der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg für die Götting KG eine wichtige Rolle. In diesem Kontext ist die Orientierung hin zur Automatisierungstechnik zu erwähnen, die auf einem Auftrag zur Werksautomatisierung der Volkswagen AG basiert. Die Kooperation mit Forschungseinrichtungen manifestiert sich beispielsweise durch gemeinsame Projekte mit der Leibniz Universität Hannover.

Die Götting KG handelt nach der Devise, ihren Mitarbeitern Freiräume und Entwicklungsmöglichkeiten zu lassen und ermutigt zu lösungsorientiertem Denken. Dabei spielen Stichworte wie der Umgang mit Misserfolg oder die Eigeninitiative eine wichtige Rolle. Dazu bedarf es exzellenter, kreativer und vor allem selbstständiger Hochschulabsolventen. Auch für den Gesamterfolg des Unternehmens und damit für den Technologiestandort Region Hannover sind diese Faktoren essentiell.

Als Motivation für die Entwicklung stehen bei der Götting KG nicht der maximale finanzielle Profit und ungebremstes Wachstum im Vordergrund. Vielmehr spielen die persönliche Identifikation mit dem Produkt und die hohe Kundenzufriedenheit als Triebkräfte eine größere Rolle. Dieses von Suffizienz und Idealismus geprägte Denken ist typisch für die Entwicklungsabteilung des Unternehmens. Die Abteilung FOX ist in diesem Sinne der technologische Think Tank des Unternehmens und bereitet den Weg für autonome, sich selbst organisierende Systeme. Im Zuge der Etablierung der Abteilung FOX leistete das Hauptgeschäft der Götting KG für teilautonome Systeme mit Spurführung eine wichtige Basisfinanzierung in den ersten Jahren. Es ist folglich dem Festhalten an einer Idee und Pioniergeist zu verdanken, dass die Abteilung heute so erfolgreich ist.

Das Hauptgeschäft der Götting KG sind teilautonome Systeme mit Spurführung, welche über Reflektoren an den Wänden einer Produktionshalle oder Transponder auf vorgegebenen Fahrwegen auf der Fahrbahn die Fahrzeuge leiten. Es handelt sich dabei um künstliche Landmarken. Die Abteilung FOX beschäftigt sich auch mit der Nutzung von natürlichen Landmarken wie beispielsweise Hindernisse im Fahrweg als Leitsysteme durch 2D oder 3D Lasererfassung. Solche eigenständig agierenden Systeme weisen einen weit höheren Autonomiegrad auf und sind bei der Götting KG derzeit in Entwicklung. Die vertriebenen Automatisierungssysteme lassen sich mit vergleichsweise wenig Aufwand in jedem Serien(nutz)fahrzeug installieren. Diese Flexibilität ermöglicht auch die Erschließung neuer Märkte im Ausland.

Durch die qualitativ hochwertigen Produkte, den umfassenden Kundensupport und die maßgeschneiderten Lösungen ist eine sichere Position am Markt gewährleistet. Die Nachfrage nach Systemlösungen der Götting KG ist ungebrochen hoch. Auch die Skalierbarkeit ist gegeben, da die Systeme auf Seriennutzfahrzeugen aufsetzen

| Firmenprofil ArtiMinds Robotics GmbH | | |
|---|---|---|
| Fakten | Kontakt | Technologie/Produkt |
| 2013 gegründet<br>17 Mitarbeiter<br>Ausgründung KIT | www.artiminds.com<br>contact@artiminds.com<br>+49 721 96694781<br>Kolberger Straße 16A<br>76139 Karlsruhe | Softwarepaket zur intuitiven Programmierung sensor-adaptiver Roboterarmbewegungen |

Das Unternehmen ArtiMinds Robotics GmbH wurde 2013 von Sven Schmidt-Rohr, Rainer Jäkel, Gerhard Dirschl und Simon Fischer gegründet. Die Idee für ein Geschäftsmodell entstand aufbauend auf erfolgreichen Promotionen am Institut für Anthropomatik und Robotik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Auch nach 3 Jahren am Markt spielt die Nähe zum KIT weiterhin eine wichtige Rolle. So kann das Unternehmen von einer engen Kooperation mit relevanten Forschungszweigen profitieren. Das äußert sich beispielsweise in gemeinsamen Forschungsprojekten oder der Einbindung von Studierenden in das Unternehmen im Rahmen von Seminar- und Abschlussarbeiten. Dies passt zum jüngsten Leitbild des KIT, Forschung, Lehre und Innovation zentral zu verknüpfen.

Diese Art der Kooperation hat nach Aussage des Unternehmens deutliche Vorteile für die unternehmerische und die universitäre Seite. So kann das Unternehmen einerseits von neuem Wissen der Studierenden profitieren. Andererseits werden Impulse aus der Wirtschaft auf informelle Weise durch die Studierenden an die Universität zurückgegeben. Die Universität kann sich somit in der Lehre besser positionieren und auf den Bedarf der Technologieunternehmen einstellen. Für die Studierenden selbst ergeben sich praxisnahe Forschungsmöglichkeiten und eine berufliche Perspektive wird aufgezeigt.

Bei der Realisierung der Gründungsidee und Umsetzung in einen Businessplan lieferte ein EXIST-Gründerstipendium wichtige Unterstützung. Jedoch auch die Nähe zu Industrie- und Technologieunternehmen im süddeutschen Raum lieferte wichtige Impulse für die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt. Bis zur Marktreife des Produkts dauerte es nach Ablauf des EXIST-Gründerstipendiums weitere 9 Monate. Für die Zukunft spielen derartige Finanzierungsmodelle für das Unternehmen eine Rolle, die besonders volkswirtschaftliche Aspekte in den Vordergrund stellen. Das Unternehmen appelliert an die Kommunalpolitik, sich in Gründungsprozessen von Unternehmen zu engagieren, um „gutes Unternehmertum“ zu fördern und damit die regionale Unternehmensstruktur zu stärken. Öffentliche und regionale Förderstellen haben den Vorteil einer längerfristigen, gesunden Unternehmensförderung zur Stärkung der regionalen Wirtschaft.

Bei dem von ArtMinds entwickelten und vertriebenen Produkt handelt es sich um ein Softwarepaket zur intuitiven, grafischen Programmierung eines Roboterarms, welcher Sensorik zur flexiblen Handlungsausführung nutzt. Die Roboterprogrammierung wird dadurch revolutioniert. Programmiert man Roboter klassischerweise mit einer für sie lesbaren Maschinensprache, ist das zwar präzise, allerdings bei komplexen Bewegungen sehr aufwendig. Hier setzt die Software von ArtiMinds an und schafft den Brückenschlag zwischen Maschinensprache und intuitiven Eingaben. Die Arbeitsweise der Software lässt sich in zwei Schritte aufteilen. In der ersten Aufnahmephase, welche die klassische Programmierung ersetzt, werden mittels drag’n’drop sowie einfachem Führen des Roboters komplexe, flexible Aufgabenprogramme erstellt. Diese Bewegungen werden in einem zweiten Schritt in eine Maschinensprache übersetzt und der Roboter kann die Bewegung entsprechend, flexibel auf Sensorsignale reagierend, umsetzen.

Aspekte der vollautomatischen „Programmierung“ sind derzeit im Produktportfolio von ArtiMinds nicht zu finden. Allerdings ermöglicht das Wissen, was sich derzeit im Unternehmen befindet, eine stärkere Positionierung in diesem Bereich. Der Einstieg in die Roboterprogrammierung wird mit Hilfe der Software extrem erleichtert. Prinzipiell ist mit der Software jeder Roboter ansteuerbar. Daraus lässt sich ein großes Marktpotential ableiten und namhafte Größen der Robotik kooperieren bereits mit ArtiMinds. Auch die Skalierbarkeit übt bei der reinen Softwarelösung keinen hemmenden Einfluss auf die Marktchancen aus. Der Zukunft blickt ArtiMinds optimistisch entgegen. Durch die Adaptivität der Technologie, ihr breites Anwendungsspektrum und die gute Skalierbarkeit können Kundenwünsche schnell umgesetzt werden.

Die Fallstudien zeigen, dass in allen Fällen eine enge Kooperation mit universitären Einrichtungen praktiziert wird. Die Kooperationsformen sind vielfältig und reichen von gemeinsamen Verbundprojekten über die Betreuung von Abschlussarbeiten bis hin zu Beschäftigung von Studierenden im Rahmen von Teilzeitverträgen während des Semesters oder innerhalb der vorlesungsfreien Zeit. Diese Art der Kooperation hat immense Vorteile für die unternehmerische und die universitäre Seite. So kann das Unternehmen einerseits von neuem Wissen der Studierenden profitieren, andererseits werden Impulse aus der Wirtschaft auf informelle Weise durch die Studierenden an die Universität zurückgegeben. Die Universität kann sich somit in der Lehre besser positionieren und auf den Bedarf der Technologieunternehmen einstellen. Für die Studierenden selbst ergeben sich praxisnahe Forschungsmöglichkeiten und eine berufliche Perspektive wird aufgezeigt.

Ein spezieller Fall bei der Kooperation eines Unternehmens mit einer Lehreinrichtung liegt bei robomotion und der Universität Stuttgart vor. Wie in dem entsprechenden Fallbeispiel weiter oben bereits erwähnt, wird vom Geschäftsführer eine regelmäßige Vorlesung an der Universität Stuttgart gehalten. Dabei können neue Erkenntnisse aus dem Unternehmensbereich den Studierenden leicht und aktuell vermittelt werden. Gleichzeitig profitiert das Unternehmen von neuen Impulsen der jungen Akademiker und kann auch aus diesem Pool neue Mitarbeiter rekrutieren.

Bei den Unternehmen ist die Technologieverfügbarkeit kein hemmender Faktor für die Skalierbarkeit. Die Unternehmen konnten entweder durch universitäre Forschung der Gründer oder durch eine längere Tätigkeit am Markt Expertise aufbauen. Es sind vielmehr die unternehmerischen Strukturen, die die Grenzen des Wachstums und der Unternehmensentwicklung setzen. Die Unternehmen berichten in diesem Kontext darüber, dass aus technologischer Perspektive immenses Wachstumspotential bei Ihnen vorhanden ist. Dieses Potential speist sich einerseits aus ihrem stark universitären Bezug durch in der jüngeren Vergangenheit abgeschlossenen Promotionen, Werkstudententätigkeit und gemeinsamen Forschungsprojekten. Andererseits liegt die Quelle für das technologische Potenzial bei der Marktätigkeit der Unternehmen.

In diesem Kontext rückt das Konzept einer ganzheitlichen Unternehmensförderung in den Fokus, welches sich nicht nur auf Technologie-, Forschungs- oder Finanzaspekte beschränken sollte, sondern auch beim Aufbau von gesunden unternehmerischen Strukturen helfen könnte. Das MZH hat auf diesem Gebiet wichtige Weichen mit dem Student Accelarator Robotics and Automation Tutorium gestellt, welches erstmals zum Sommersemester 2016 angeboten wurde und Hilfe bei der Erstellung eines Businessplans bietet. Zudem werden in Kooperation mit weiteren Instituten und dem Gründungsservice starting business weitere Beratungsdienstleistungen und Lehrveranstaltungen zur Unterstützung des technologieorientierten Unternehmertums an der LUH angeboten. Dieser vielversprechende Ansatz sollte weiter verfolgt und ausgebaut werden (vgl. Kapitel 7 und 8). Das Angebot von Gastvorlesungen oder regelmäßigen Veranstaltungen, die von Unternehmern gehalten werden, wie im Beispiel der Universität Stuttgart und der robomotion GmbH, ist ein weiterer vielversprechender Schritt auf dem Weg zur weiteren Vernetzung von Lehre und unternehmerischer Tätigkeit. Das MZH bietet beispielsweise in Rahmen eines wissenschaftlichen Kolloquiums Vorträge aus dem universitären und industriellen Umfeld an (Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover 2016a). Global lässt sich weiterhin festhalten, dass Vernetzung äußerst wichtig für den Erfolg ist. Clusterportale, beispielsweise in Baden-Württemberg (Clusterportal Baden-Württemberg 2016) bieten ein Forum für den Austausch und die bedarfs- und zielgerichtete Unterstützung.

Ferner war bei den Fallstudien zu erkennen, dass besonders in der Gründungsphase der Unternehmen Industriepartner wichtigen Input zu Produktanforderungen geben konnten. Auf diese Weise konnte schon vor der Fertigstellung eines Businessplans Einfluss auf das Produktportfolio des jungen Un-

ternehmens genommen und in der Folge dessen Position am Markt verbessert werden. Besonders die Phase nach Ablauf des EXIST-Gründerstipendiums wurde von den Unternehmen als schwierig empfunden. Ein Produkt mit ausgefeilter Marktreife ließ sich dank des Inputs von Partnerunternehmen weitaus schneller am Markt etablieren. Es sind folglich auch in der Region Hannover Lösungen gefragt, die junge Unternehmen möglichst schnell mit potentiellen Kunden und Partnerunternehmen vernetzen.

- Welche konkreten Maßnahmen stärken den Robotikstandort Region Hannover?
- Was sind mögliche Pfade, die beschritten werden sollten?
- Welche Innovationshürden sind absehbar?
- Welche Rahmenbedingungen müssen gegeben sein?

Diese Fragen sollen im Folgenden anhand von drei Schwerpunkten (Software, Firmenkooperation und die Verschmelzung von Service- und Industrierobotik) diskutiert werden. In den Fallstudien ist deutlich geworden, wie wichtig die Entwicklungen im Bereich Software bereits sind und weiterhin sein werden. Auch die Kooperation von Firmen und sich daraus ergebende wirtschaftliche Potenziale wurden bereits angesprochen. Letztendlich wagen die folgenden Absätze den Brückenschlag zwischen Service- und Industrierobotik und nehmen damit Bezug auf Kapitel 2 dieser Studie.

Das Fallbeispiel der Unternehmensstudie zum Karlsruher Unternehmen ArtiMinds GmbH zeigt bereits auf, dass der Markt für Robotik durchaus rezeptiv ist für kleine, innovative Unternehmen fernab einer traditionellen industriellen Produktion. So gelingt es der ArtiMinds GmbH mit ihrem rein softwarebasierten Produkt für Robotersteuerung Aufgaben wahrzunehmen, die vorher von am Markt etablierten Großunternehmen in-house realisiert wurden/werden mussten. Auch die Übernahme von Anteilen am Roboter-Startup Magazino durch Siemens (Gründerszene.de 2015) deutet eine parallele Entwicklung an. Diese Beispiele beschreiben eine vielversprechende Möglichkeit, auf Softwareebene - und daher fast frei skalierbar - in den Robotikmarkt einzusteigen. Das Beispiel von ArtiMinds zeigt darüber hinaus, dass ein Outsourcen der Softwareprogrammierung zur Robotersteuerung auch Vorteile für den Kunden hat, indem die Steuerung stark vereinfacht wird.

Soweit zum Stand der Entwicklungen am Markt. Würde und wird der Gedanke der unabhängigen Softwareentwicklung weitergedacht, könnte eine Art Entwicklergemeinschaft für Roboter-Apps auf einer Plattform entstehen, die Googles Playstore, Apples iStore oder der Open Source Plattform F-Droid ähnelt. Alle 3 Plattformen bieten Applikationsentwicklern eine einfache Möglichkeit ihre Software und deren Updates zu publizieren. Für Nutzer robotischer Systeme hätte solch eine gemeinsame Plattform die gleichen Vorteile, wie für Benutzer der mobilen Betriebssysteme Android und iOS schon heute. An solch ein Portal könnten sich auch Unternehmen andocken, die klassischerweise nicht im Robotergeschäft beheimatet sind (z. B. (Wissenswerft GmbH 2016) oder (Perfektionisten GmbH 2016). Momentan existieren bereits proprietäre Lösungen von „App-Stores“, die lediglich bestimmte Robotersysteme bedienen können (ULIXES Robotersysteme GmbH 2016). Zukünftige Aktivitäten auf diesem Markt werden einerseits das Entstehen neuer proprietärer Lösungen für einzelne Robotersysteme sein. Andererseits zeichnet sich bereits ab, dass Unternehmen Felder besetzen, die sich mit der Integration verschiedener Systeme befassen. ArtiMinds beispielsweise verfolgt diesen Ansatz mit einer zusätzlichen Programmierschicht, ähnlich einer API. Siehe dazu auch das entsprechende Firmenprofil. Einen weiteren interessanten integratorischen Ansatz verfolgt das Würzburger Unternehmen iTiZZiMO (iTiZZiMO AG 2016), das für den bayerischen Gründerpreis 2016 in der Kategorie Aufsteiger nominiert wurde. Ziel des vertriebenen Softwarepakets ist es, Schnittstellen zu implementieren. Auf diese Weise können Apps integriert, Datenquellen hinzugefügt und Prozesse gemanagt werden. Ein Backend lässt die Programmierung mit eigenem Code zu. Neuartig an diesem Produkt ist der globale Ansatz mit dem Ziel, sämtliche Schnittstellen, Apps, Datenquellen, Prozessabbildungen etc. in

einer API (Programmierschnittstelle) bzw. GUI (grafischen Oberfläche) zu vereinen. Die Einsatzbereiche einer solchen Lösung sind vielfältig und das Produkt leicht skalierbar.

Aufgrund des enormen Skalierungspotenzials von reinen Softwareprodukten, kommt dieses Kapitel zu der Empfehlung, diesen Pfad zu beschreiten oder zumindest äußerst genau zu beobachten. Für Bildungseinrichtungen bedeutet das eine besondere Fokussierung auf informationstechnologische Studiengänge mit spezieller Ausrichtung auf die benötigten Expertisen der Robotik. In diesem Sinne können auch Bildungseinrichtungen von der Skalierbarkeit von Softwareprodukten profitieren, die für die Ausbildung nötig sind. So kann auf aufwendige Prüf- und Lehrstände im Maschinenbaubereich verzichtet werden. Die Ausbildung ist, genau wie mögliche Softwareprodukte, im virtuellen Raum angesiedelt.

Ein weiterer wichtiger Entwicklungspfad ist gewissermaßen in der Region Hannover selbst zu finden. Wie in den vorherigen Kapiteln bereits angeklungen, ist die Vernetzung und Verschmelzung von Expertise für den Erfolg von Unternehmen äußerst wichtig. In den Firmenfallstudien wird das Unternehmen Götting KG vorgestellt, welches in Lehrte angesiedelt ist, und seit vielen Jahren exzellente Sensorsysteme für autonome Systeme im Fahrzeugbereich herstellt. Es drängt sich in diesem Kontext die Frage auf, inwieweit diese schon bestehenden Sensorsysteme nicht auch für andere autonome Systeme genutzt werden könnten. In der aufstrebenden Servicerobotik, die einen engen Kontakt zwischen Mensch und Maschine voraussetzt, sind solche Sensorsysteme unerlässlich, um die Interaktion zwischen Menschen und Robotern zu koordinieren. Aktuelle Entwicklungen am Markt, beispielsweise der Leichtbauroboter FRANKA, zeigen bereits, dass die Barrieren, die Mensch und Maschine trennen, bald aufgehoben werden können. Denkbar wäre in diesem Kontext eine Ausstattung des Leichtbauroboters FRANKA durch Sensorsysteme der Götting KG. Expertise bliebe auf diese Weise in der Region, würde synergetisch weiterentwickelt und könnte einen Gegenpol zu dem Industriestandort Südwestdeutschland bilden.

In Kapitel 2 dieser Studie werden definitorische Fragen in Bezug auf die Industrie- und Servicerobotik diskutiert. Dabei wird deutlich, dass die Grenzen zwischen den beiden Feldern zunehmend verschwimmen. So ist davon auszugehen, dass die Bereiche in absehbarer Zukunft nicht mehr voneinander zu trennen sind. Das lässt sich bereits heute an den Definitionen der Robotik von jeweils 1990 und 2010 ablesen (vgl. Kapitel 2). Auch das klassische Industrieroboterunternehmen KUKA aus Augsburg setzt in diesem Kontext bereits auf Leichtbauroboter (KUKA Roboter GmbH 2016). Solch ein Szenario des Umbruchs bietet exzellentes Terrain für Firmenneugründungen mit innovativen Ideen, die gefördert werden wollen. Diese Entwicklung muss weiter beobachtet werden, denn auf diese Weise kann sich die Region Hannover im Bereich der Robotik innovativ positionieren und ein eigenes Technologie- und Kompetenzprofil auf- bzw. ausbauen.

# 7 Regionale Initiativen

Die weitere Etablierung von robotischen Systemen bietet große Chancen für Wirtschaft und Gesellschaft. Regionen, die sich frühzeitig auf diesen Trend einstellen und die geeigneten Rahmenbedingungen für die Entstehung von Innovationen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme schaffen, können von der hohen Entwicklungsdynamik der neuen Technologien profitieren. Der Ausbau regionaler Kompetenzen im Bereich der Robotik ist zudem ein wichtiger Baustein bei der Positionierung als Zukunftsstandort der Digitalen Wirtschaft. Dies ist vor allem darin begründet, dass robotische Systeme in verschiedensten Wirtschaftszweigen zur Anwendung kommen und auf diese Weise in erheblichem Maße zur Diffusion digitaler Technologien und Innovationen beitragen. Standorte wie die Region Hannover, die sich durch hohe wissenschaftliche Potenziale im Bereich der Robotik auszeichnen, sind beim Wettbewerb der Regionen grundsätzlich in einer guten Startposition. Um die regionalen Potenziale voll ausschöpfen zu können, sollte sich die wissenschaftliche Exzellenz allerdings auch in einer Robotik-affinen Unternehmenslandschaft wiederspiegeln. Die Analyse der wirtschaftlichen Entwicklerpotenziale im Bereich der Robotik hat gezeigt, dass es in der Region Hannover in diesem Bereich durchaus noch Entwicklungsmöglichkeiten gibt.

Die Förderung von Robotik-Start-ups oder die Unterstützung bei der Anbahnung von FuE-Projekten zwischen Wissenschaft und Wirtschaft stellen deshalb wichtige Handlungsfelder der regionalen Innovations- und Wirtschaftspolitik dar. In der Region Hannover besteht bereits eine Reihe von Angeboten und Initiativen, die zur Weiterentwicklung der regionalen Robotik-Potenziale beitragen. Einige dieser Initiativen richten sich zwar nicht explizit an Akteure aus dem Bereich robotischer Systeme, sind für diese aber durchaus von hoher Relevanz. Bei den bestehenden Unterstützungsangeboten handelt es sich insbesondere um die folgenden Projekte und Initiativen:

- **Kompetenzzentrum Mittelstand 4.0 „Mit uns digital – Das Zentrum für Niedersachsen und Bremen“:** Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Zentrum will Industrie-4.0-Know-how in den Mittelstand bringen und damit die Wettbewerbsfähigkeit der regionalen Unternehmen stärken. Koordiniert wird das Zentrum vom Produktionstechnischen Zentrum Hannover (PZH) und dem Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH). Ziel der Initiative ist es, KMU in Niedersachsen und Bremen bei der digitalen Transformation zu unterstützen, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken sowie die Erschließung neuer Geschäftsfelder im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0 zu ermöglichen. In der Robotation Academy auf dem Messegelände ist eine Generalfabrik entstanden, in der zu Anschauungszwecken eine komplette Fertigungslinie nach Industrie-4.0-Maßstäben aufgebaut wurde. Auch Schulungen wird das Kompetenzzentrum anbieten - etwa zu Big Data, Mensch-Maschine-Interaktion, Arbeit 4.0 und fahrerlosen Transportsystemen. In diesem Zusammenhang bieten sich viele Anknüpfungspunkte für Kompetenzträger aus dem Bereich robotischer Systeme. Direkte Unterstützung erhalten KMU darüber hinaus in Modellprojekten. Die Mitarbeiter des Kompetenzzentrums begleiten dabei ausgewählte Unternehmen über einen längeren Zeitraum und unterstützen diese bei der innerbetrieblichen Gestaltung des digitalen Wandels.

- **Roboterfabrik an der LUH:** Die Roboterfabrik dient der gezielten MINT-Nachwuchsförderung in der Region Hannover. Die Umsetzung erfolgt federführend durch das Institut für Regelungstechnik und das Institut für Mechatronische Systeme sowie unter Beteiligung des Roberta RegioZentrums (s. u.) und weiterer Partner. Das Ziel der Roboterfabrik ist es, der kommenden Generation der „Robotic Natives“ ein integriertes und durchgängiges Ausbildungsangebot zu bieten, welches den Brückenschlag von der Schule bis in die Robotik-Ausbildung an der LUH

schafft. Dieses Ziel soll mit innovativen Lehrkonzepten erreicht werden, die nicht nur der technischen Ausbildung dienen, sondern auch dem Erwerb von Fähigkeiten in den Bereichen Teamwork, Time-Management und Kreativität (u. a. theoretische Vorlesungen, Robothrons zur praktischen Anwendung des Erlernten, Live-Demonstrationen etc.). Die Roboterfabrik soll darüber hinaus durch die Kooperation mit Industriepartnern, welche z. B. die für die praxisnahen Lehrmodule passenden Systeme bereitstellen, die strategische Verknüpfung von Schule, Universität und Industrie ermöglichen. Perspektivisch soll aufbauend auf der Roboterfabrik ein eigener Robotik-Studiengang in Form eines Master of Science angeboten werden, der die Robotik-Ausbildung an der LUH bündelt.

- **Roberta RegioZentrum Hannover:** Ziel des Roberta RegioZentrums Hannover ist es, mit konkreten Angeboten und in Kooperationen mit Schulen, der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik der LUH und Unternehmen aus der Region das Interesse und die Motivation von jungen Menschen für Informatik, Technik und Naturwissenschaften zu fördern (Schnupperkurse, Workshops, Projekttage und Wettbewerbe, u. a. der Roberta-Challenge). Das Zentrum versteht sich als Ansprechpartner für alle Schulen in der Region Hannover, die Roberta Roboter-Kurse in ihre schulische Ausbildung integrieren möchten. Schülerinnen und Schüler haben damit die Möglichkeit, Robotertechnologie und Informatik praxisnah kennenzulernen. Projektträger ist die Region Hannover. Die Umsetzung erfolgt in enger Abstimmung u. a. mit der IHK Hannover und der Stadt Garbsen. Sitz des Zentrums ist das Johannes-Kepler-Gymnasium in Garbsen. Das Roberta RegioZentrum Hannover ist zertifiziert durch das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS und soll als regionale Koordinierungsstelle und Multiplikator die Robotikaktivitäten der Region Hannover in schulischen Bereichen bündeln.

- **Durchgängiges Konzept „Technologieorientiertes Unternehmertum“ an der LUH:** Unter Federführung des Lehrstuhls für Mechatronische Systeme an der LUH und der Einbindung weiterer Partner (Institut für Unternehmensführung und Organisation (UFO) an der LUH, GISMA Business School, hannoverimpuls, Gründungsservice starting business etc.) wird an einem gemeinschaftlichen Konzept zur Förderung der Gründungsaktivitäten von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studienfächer gearbeitet. Das hohe Robotik-Know-how an der LUH soll auf diese Weise noch besser für die Region nutzbar gemacht werden und zur weiteren Profilierung als Innovations- und Ausbildungsstandort der Robotik beitragen. Das Konzept basiert auf mehreren Bausteinen, von denen u. a. bereits eine Vorlesung zur Gründungspraxis für Technologie-Start-ups sowie ein „Student Accelerator Robotics and Automation“ (maßgeschneiderte Betreuung bei der Umsetzung von Businessideen im Studium) realisiert wurden. Ergänzt werden diese Angebote durch das bereits bestehende vielfältige Lehrangebot zum Thema Entrepreneurship des UFO und der GISMA Business School sowie die Beratungsangebote des Gründungsservices starting business. Perspektivisch sollen die Angebote durch weitere Bausteine wie ein „Inkubator Robotics and Automation“ (erste Schritte zur Selbstständigkeit in der Endphase bzw. nach Abschluss der Promotion) oder die Schaffung eines Wagniskapitalfonds zur Finanzierung von Robotik-Start-ups erweitert werden. Darüber hinaus gibt es in der Region Hannover weitere Unterstützungsangebote für Gründerinnen und Gründer, die sich zwar nicht explizit an Robotik-Experten richten, von diesen jedoch genutzt werden können. Genannt sei bspw. die VentureVilla. Es handelt sich dabei um ein Wirtschaftsförderungsprogramm aus Hannover, welches als Seed Accelerator Gründer und Startups aus ganz Deutschland unterstützt.

- **Industrieforum „Kompetenzen in der Fertigungstechnik“:** Initiiert durch das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen an der LUH werden unter dem Dach des Industrieforums die optimierte Kombination von Mitarbeiterkompetenzen und Technologien der Digitalisierung thematisiert. U. a. werden jährlich mehrere kostenlose und frei zugängliche Workshops organisiert. In diesen diskutieren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Industrie, technologieorientierte Unternehmen und Forschung über aktuelle Probleme und potenzielle Lösungsstrategien beispielsweise bzgl. des heutigen Fachkräftemangels und der beschleunigten Entwicklung neuer Technologie. Auf diese Weise sollen neue Kooperationen geschaffen und Erfahrungen zwischen den Betrieben ausgetauscht werden. Zusätzlich werden Ideen und Konzepte für Dienstleistungen und Produkte vorgestellt, mit denen sich z. B. die Weiterbildung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern effizienter gestalten lässt.

- **MIWeB – Konzipierung technischer Weiterbildungsmaßnahmen am Beispiel der Automatisierungstechnik:** Das Projekt wird koordiniert durch die TEWISS – Technik und Wissen GmbH, das Institut für Fabrikanlagen und Logistik an der LUH und die forward ttc GmbH. Eine erhöhte Flexibilisierung, verkürzte Innovationszyklen und größere Technologiesprünge führen zu neuartigen betrieblichen Aufgaben, die durch qualifiziertes Personal gelöst werden müssen. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel des geplanten Vorhabens die Bereitstellung einer Methodik zur Identifizierung mitarbeiterindividueller Weiterbildungsbedarfe und die Konzipierung von Weiterbildungsmaßnahmen unter Berücksichtigung mitarbeiter- und unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen am Beispiel der Automatisierungstechnik. Die Erarbeitung der Systematik erfolgt in mehreren Phasen und mündet in der Bereitstellung eines mehrstufigen, dialogbasierten und frei zugänglichen (Software)-Tool zur Schulungskonzipierung sowie einer Pilotschulung für Ingenieure, Meister und Techniker.

In der Region Hannover existieren somit bereits mehrere Initiativen und Unterstützungsangebote, die einen wichtigen Beitrag zu Weiterentwicklung der regionalen Robotik-Potenziale leisten. Schwerpunkte liegen vor allem in den Bereichen Qualifizierung, Vernetzung und Start-up-Förderung. In Kapitel 8 werden weitere strategische Handlungsfelder diskutiert, die eine Stärkung der regionalen Innovationsfähigkeit im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme ermöglichen könnten.

# 8 Integration der Ergebnisse und strategische Handlungsfelder

Innovationen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme tragen in erheblichem Maße zur fortschreitenden Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft bei. Neue Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Interaktion, des maschinellen Lernens und der Selbststeuerung schaffen die technologische Basis für eine Ausweitung der Einsatzfelder von Robotik-Systemen im industriellen Bereich sowie im Dienstleistungssektor. Daraus ergeben sich vielfältige Ansatzpunkte für Produkt- und Prozessinnovation sowie neue und innovative Geschäftsmodelle. Regionale Innovationssysteme, die frühzeitig auf diese technologischen und ökonomischen Trends reagieren, haben folglich gute Voraussetzungen, sich im internationalen Standortwettbewerb zu behaupten. Bei der Diskussion um die Akzentuierung strategischer Handlungsfelder und der Weiterentwicklung von innovations- und strukturpolitischen Unterstützungsangeboten sollte die Herausbildung besonderer regionaler Kompetenzen bei der Entwicklung von Robotik-Lösungen deshalb von zentraler Bedeutung sein. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden die zentralen Erkenntnisse der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Potenzialanalyse aufgegriffen und darauf basierend erste Ansatzpunkte für eine Unterstützung von Innovationen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme in der Region Hannover skizziert.

Für die Region Hannover ergibt sich mit Blick auf die Robotik im Allgemeinen ein ambivalentes Bild. In der Forschung und Ausbildung darf der Region und hier vor allem der Stadt Hannover ein großes Potenzial attestiert werden, das sich deutlich aber nicht ausschließlich in der Leibniz-Universität konzentriert. Nur sehr wenige Standorte in Deutschland können ein solch breit gefächertes und international anerkanntes Profil wissenschaftlicher Kompetenzen im Bereich der Robotik vorweisen. Mit Blick auf die Wirtschaft existieren zwar einige wenige Unternehmen, die autonome Systeme entwickeln und anbieten, aber regionale Hersteller von Komplettsystemen der Robotik sind in der Region nicht zu finden. Und auch bei verwandten Themen wie etwa dem Maschinenbau liegt die Region Hannover in wirtschaftlicher Hinsicht hinter den bekannten Zentren in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern zurück, wobei Niedersachsen als Bundesland immerhin den vierten Platz in der Anzahl der Unternehmen einnimmt – allerdings mit deutlichem Abstand zum Drittplatzierten (Abbildung 17).

Wenngleich die großen und marktbestimmenden Firmen und Systemintegratoren wie Siemens Digital Factory & Process Industries and Drives, Festo oder KUKA ihren Sitz sowie ihre FuE- und Produktionskapazitäten allesamt außerhalb der Region Hannover haben, sind in der Region sowie deren erweitertem Umfeld dennoch zahlreiche Unternehmen tätig, die wichtige Schlüsseltechnologien für die Automatisierung und damit prinzipiell auch für die (Industrie-) Robotik entwickeln. Zu nennen sind etwa der in Hannover-Marienwerder gelegene Standort des Mischkonzerns Johnson Controls (unter anderem Batterien und Gebäudetechnik) oder die in Lehrte ansässige Götting AG (autonome Systeme). Weitere Unternehmen des erweiterten Umfelds sind beispielsweise Phoenix Contact (Elektronikkomponenten und -systeme für die Automation) aus Blomberg und die in Aerzen ansässige Lenze-Gruppe (Antriebstechnik und Automatisierungslösungen). Bis heute hat sich jedoch kein auf den automatisierungstechnischen Kompetenzen beruhendes Profil in der Robotik entwickelt. Mit Blick auf die Nutzung von Automatisierungstechnik wäre eine solche Entwicklung am ehesten im Bereich der Industrierobotik zu erwarten gewesen.

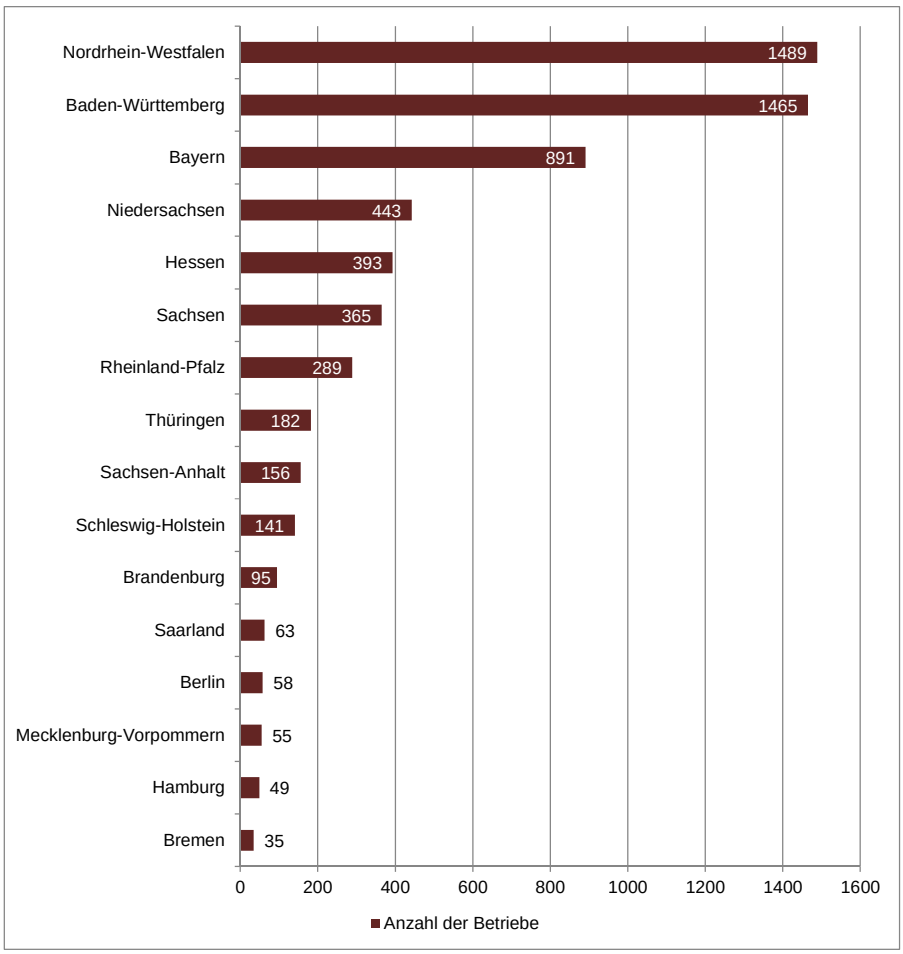


Abbildung 17: Anzahl der Betriebe im Maschinenbau in Deutschland nach Bundesland im Jahr 2015 (Quelle: Statista GmbH 2016, eigene Darstellung)

Das Fehlen eines solchen Profils im Bereich Industrierobotik bei gleichzeitig deutlich erkennbarer akademischer und unternehmerischer Substanz in der Automatisierungs- und Produktionstechnik, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie IKT- und Software-Systemen kann angesichts des fortgeschrittenen Entwicklungsstandes anderer Standorte in der Herstellung von Industrierobotern in gewisser Weise auch neue Chancen für die Region Hannover eröffnen. Dies gilt insbesondere mit Blick auf das wachsende Feld der Service- und Alltagsrobotik, deren wirtschaftliche Potenziale ohne eine zu starke Fokussierung auf die Industrierobotik und die damit einhergehenden Pfadabhängigkeiten von der regionalen Wirtschaft erschlossen werden können. Derartige Systeme (Cobots) müssen, insbesondere im Zusammenspiel mit Menschen, hohen Ansprüchen an eine adaptiv-kollaborative, autonome Funktionsweise genügen. Während Industrieroboter relativ trennscharf definierbar sind, gilt dies für Serviceroboter nur bedingt, da sie auch im gewerblichen Rahmen und zum Teil in der industriellen Produktion genutzt werden können. Zentrale Merkmale sind die Einsatzfähigkeit in wenig strukturierten und offenen Arbeitsumgebungen sowie eine einfache Bedienbarkeit. Deutschland ist in der Service-Robotik im Vergleich zu Japan und Korea relativ schwach positioniert und es gibt bisher keinen Standort in Deutschland (bzw. Europa), der durch ein Profil „Service- und Alltagsrobotik“ charakterisiert ist, sodass sich hier grundsätzlich eine Entwicklungsperspektive im Wettbewerb der Regionen ergeben kann. Unternehmen aus der Region und deren erweitertem Umfeld wie Sennheiser (Wedemark), KIND Hörgeräte (Großburgwedel) oder Otto Bock (Duderstadt) bieten prinzipiell die technologischen Schnittstellen, um ihr Know-how (mittelfristig) in die Entwicklung von Robotik-Lösungen im Ser-

vice-Bereich einfließen zu lassen. Darüber hinaus ist zu prüfen, inwiefern die Ansiedlung neuer Unternehmen und die gezielte Förderung von Start-Ups das regionale Unternehmenspotenzial in diesem Technologiefeld anheben können.

Selbstverständlich darf eine Akzentuierung im Bereich der Service- und Alltagsrobotik nicht dazu führen, dass die Entwicklungsperspektiven regionaler Kompetenzträger der Industrierobotik eingeschränkt werden, denn der Einsatz von adaptiv-kollaborativen autonomen Systemen in der Produktion wird gerade für ein Industrieland wie Deutschland im Zuge einer fortschreitenden Automatisierung und Vernetzung von Wertschöpfungsprozessen weiterhin an Bedeutung gewinnen. Allerdings ist aufgrund von wirtschaftsstrukturellen Entwicklungen seit einigen Jahren ohnehin eine zunehmende Annährung und Überschneidung der Industrie und des Dienstleistungssektors zu beobachten. Auch im Bereich der Robotik sind die konkreten Einsatzmöglichkeiten bestimmter technologischer Innovationen in ganz verschiedenen Wirtschaftszweigen und -sektoren zu verorten. Ebenso sollten bei einer verstärkten Fokussierung auf die wirtschaftlichen Potenziale im Bereich der Servicerobotik innovations- und wirtschaftspolitische Unterstützungsmaßnahmen deshalb vor allem darauf abzielen, nicht nur den Wissensaustausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft, sondern auch zwischen verschiedenen Branchensegmenten und Kompetenzfeldern zu befördern.

Um das unzweifelhaft vorhandene technische Potenzial der Region für das Thema „Service- und Alltagsroboter“ zu mobilisieren, bedarf es vor diesem Hintergrund einer strategischen Integration verschiedener Entwicklungslinien, die auf ein gemeinsames Ziel einzahlen. Im Wesentlichen sind dies die folgenden potenziellen Handlungsfelder:

- die Nutzung bestehender Robotersysteme als Hardware-Plattform (Diversifizierung bestehender Unternehmen),
- die Nutzung bestehender Robotersysteme als Software-Plattform (Start-ups),
- die Unterstützung bei der Initiierung eines Instituts/Zentrums für Service- und Alltagsrobotik,
- die Stärkung von Medizin und Pflege als Anwendungsfeld der Service- und Alltagsrobotik,
- die finanzielle Förderung von Kooperationsprojekten zwischen KMU und FuE-Einrichtungen,
- der Ausbau bestehender Unterstützungsangebote (Aus- und Weiterbildung, Profilbildung) und
- die Entwicklung strategischer Achsen über die Region hinaus.

Die einzelnen Maßnahmen werden im Folgenden beschrieben:

### Roboter als Hardware-Plattform

Bereits erfolgreich am Markt platzierte adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme können als technologische Basis für die Entwicklung von zusätzlichen Komponenten dienen, um dem Roboter auf diese Weise zusätzliche Fähigkeiten (z. B. technisches Sehen für die Orientierung im dreidimensionalen Raum) zu verleihen. Folglich können auch Unternehmen, die selbst keine ganzheitlichen Robotik-Systeme entwickeln, an der Weiterentwicklung bestehender Robotik-Lösungen partizipieren. Hierzu gilt es, das technologische Potenzial der regionalen Firmen, die eine Nähe zur Robotik und ihrer Komponenten (Antriebe, Sensorik etc.) haben, bei einer entsprechenden Diversifizierung zu unterstützen. Mit einer derartigen Strategie kann die Region Schritte einleiten, um Robotikplattformen (beliebiger Hersteller) aufzuwerten, an unterschiedliche Anwendungsszenarien anzupassen und die Basis für eine entsprechende Wertschöpfung zu legen.[1] Als Kristallisationspunkt für eine Entwicklung der Service- und Alltagsrobotik wäre es darüber hinaus von großem Vorteil, einen dezidierten Robotikherstel-

[1] Als frühes Beispiel für eine solche Veredlungs- und Diversifikationsstrategie kann der US-amerikanische Chirurgieroboter RoboDoc dienen, der auf einem modifizierten Industrieroboter basiert(e). Auch KUKA hat sein Knowhow aus der Industrierobotik in die Medizintechnik („advanced medical robotics“) übertragen.

ler in der Region anzusiedeln. Prof. Dr. Sami Haddadin, Gründer und Vorstand von der in München ansässigen Firma KBee, leitet das Institut für Regelungstechnik an der Leibniz Universität Hannover. Grundsätzlich wäre es deshalb vorstellbar, dass der Roboterarm FRANKA EMIKA und die entsprechende Kontrolleinheit zukünftig in der Region Hannover hergestellt werden könnte. Alternativ könnte die Region davon profitieren, das am Standort verteilte Know-how in einem Systemintegrator in Gestalt eines Joint Ventures (möglicherweise auch als privat-öffentliche Partnerschaft unter Beteiligung einer FuE-Einrichtung) zusammenzuführen.

### Roboter als Software-Plattform

Können keine Unternehmen mit entsprechendem Potenzial identifiziert und/oder für eine derartige Entwicklung gewonnen werden, bieten Systeme wie FRANKA EMIKA oder auch der französisch-japanische Kommunikationsroboter Pepper die Möglichkeit, den Fokus von der Hardware- auf die Software-Entwicklung zu lenken. Die Software-Entwicklung ist in vielen Bereichen weniger kapitalintensiv und voraussetzungsreich, kann aber in der Wertschöpfung ebenfalls bedeutende Anteile ausmachen. Auf diese Weise bietet sie insbesondere auch für universitäre Start-ups eine unmittelbare Perspektive. Die regionalen Potenziale für die Gründung von IT-Unternehmen mit Schwerpunkten im Bereich der Robotik sind auch deshalb vorhanden, da die Institute der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik sowie der Fakultät für Maschinenbau unter dem Dach des MZH an der LUH schon heute in einer Vielzahl von Projekten eng miteinander kooperieren. In diesem Zusammenhang stellt die Schaffung bzw. Weiterentwicklung eines entsprechenden „Robotik-Ökosystems“ ein zentrales Handlungsfeld dar. In einem solchen Ökosystem können sich die Studierenden bereits an der Hochschule das notwendige Know-how für die Gründung eines Unternehmens aneignen, konzeptionelle und finanzielle Unterstützung bei der Umsetzung ihres Projekts erhalten bzw. auf bestimmte räumliche oder infrastrukturelle Angebote zugreifen. Derzeit werden in der Region Hannover mit Angeboten wie der VentureVilla bereits erste Robotik-Start-ups aus dem Bereich der Hard- und Softwareentwicklung unterstützt. Diesen Ansatz gilt es weiter zu verfolgen, um noch mehr Absolventen zur Gründung entsprechender Unternehmen zu ermutigen.

### Institut / Zentrum für Service und Alltagsrobotik

Aufbauend auf der Zielsetzung, den Akteuren und den Erfahrungen mit dem MZH ist zu prüfen, inwiefern mittelfristig ein Institut/Zentrum für Service- und Alltagsrobotik an der LUH etabliert werden kann. Mit einer solchen Maßnahme erhält die thematische Schwerpunktsetzung und die Themenführerschaft in einem bisher in Deutschland nur schwach entwickelten Feld eine unmittelbare Bündelung der Kompetenzen und eine weit über die Region hinaus ausstrahlende Sichtbarkeit. Die Initiative für die Etablierung einer solchen Institution muss selbstverständlich von den wissenschaftlichen Akteuren in der Region ausgehen, kann durch Politik und Wirtschaftsförderung jedoch konzeptionell und finanziell unterstützt werden. Ein wesentlicher Aufgabenschwerpunkt einer solchen Einrichtung stellt neben der Bündelung regionaler Forschungskompetenzen die Unterstützung bei der Anbahnung und Koordination von Forschungs- und Entwicklungskooperationen mit weiteren Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft dar. Da die Erfahrung gezeigt hat, dass virtuelle Institute oftmals durch einen gewissen Mangel an Verbindlichkeit charakterisiert sind, bietet es sich an, auf dem Gelände des Innovations- und Forschungscampus Hannover-Garbsen ein eigenes Institut/Zentrum zu errichten. Perspektivisch könnten diese Strukturen genutzt werden, um das Institut/Zentrum bspw. in ein Fraunhofer-Institut weiterzuentwickeln.

### Kooperationen Technik & Medizin (cross-sektorale Innovationen)

Mit Blick auf die Kooperationen in den Bereichen Technik & Medizin existieren zwischen verschiedenen Instituten der LUH, dem MHH und dem International Neuroscience Institute bereits etablierte Beziehungen. Insbesondere im Kontext robotischer Systeme verfügt Hannover dabei über ein weitgehendes Alleinstellungsmerkmal, sodass hier die Möglichkeit gegeben ist, innerhalb eines Profils „Service- und Alltagsroboter“ einen deutlichen Schwerpunkt auf die Anwendungsfelder Medizin und Pflege zu legen (cross-sektorale Innovationen). In einem zweiten Schritt können weitere Anwendungsfelder erschlossen werden. Diese sollten sich ebenfalls aus bestehenden Kooperationen und den Forschungsschwerpunkten der regionalen Kompetenzträger ableiten. Die Schnittstellen zwischen den Robotik-affinen Ingenieurswissenschaften und angrenzenden Kompetenzbereichen bzw. den verschiedenen Anwendungsfeldern der neuen Technologien bieten ebenso wie die Entwicklung innovativer Software-Lösungen vielfältige Möglichkeiten für universitäre Start-ups und die Ansiedlung neuer Unternehmen.

### Finanzielle Förderung von Kooperationsprojekten

KMU verfügen in vielen Fällen über keine eigenen FuE-Abteilungen und es fehlt zum Teil an den personellen und finanziellen Ressourcen, um hochinnovative und damit auch risikobehaftete Entwicklungsprojekte aus eigener Kraft heraus anzustoßen. Bei der Steigerung des Innovationserfolgs und der Erschließung neuer Geschäftsfelder können deshalb gerade KMU in besonderer Weise von Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen profitieren (Dömötör 2011; Rammer et al. 2006). Wenngleich viele KMU Interesse an einer Kooperation mit wissenschaftlichen Einrichtungen haben, scheuen sie einerseits den Aufwand einer förmlichen Antragsstellung und andererseits sind sie zu Beginn möglicher Kooperationsbeziehungen an der Lösung eng umrissener, kleiner Projekte interessiert. Die von den KMU typischerweise aufgebrachten Finanzmittel, die an FuE-Einrichtungen gezahlt werden können, liegen in Größenordnungen von 15 bis 20 Tsd. Euro. Da für einen solchen Betrag in vielen Fällen keine seriöse Stellenplanung an den FuE-Einrichtungen möglich ist, stellt die finanzielle Förderung von kooperativen FuE-Projekten einen wichtigen Baustein bei der Weiterentwicklung des regionalen Innovationssystems dar. Hierfür können bereits etablierte Unterstützungsangebote wie das Niedersächsische Innovationsförderprogramm für Forschung und Entwicklung in Unternehmen, welches den Austausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sowie eine planbare Personalentwicklung an den FuE-Einrichtungen ermöglicht, genutzt werden. Darüber hinaus besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Anbahnung von Forschungskooperationen durch weitere besonders flexibel gestaltete Finanzierungsinstrumente wie z.B. einem regionalen Kooperationsfonds zu unterstützen.

### Bestehende Unterstützungsangebote

Die in der Region existierenden Maßnahmen und Initiativen zur Aus- und Weiterbildung über die gesamte Bildungskette sollen mit dem Ziel der Förderung von „Robotic Natives“ und hochqualifiziertem Fachpersonal (in der dualen Berufsbildung ebenso wie in der akademischen Ausbildung) bedarfsgerecht und am Leitbild einer adaptiv-kollaborativen autonomen Service- und Alltagsrobotik ausgebaut werden. Schon heute kann die Verfügbarkeit von Absolventen mit sehr spezifischen Kompetenzen bei der Entwicklung adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme in der Region Hannover im Vergleich mit anderen Standorten in Deutschland als exzellent bezeichnet werden. Dieser Standortvorteil muss beispielsweise bei der Diskussion um die Ansiedlung neuer Unternehmen noch stärker akzentuiert werden. Um das Potenzial der Region herauszustellen und den akademischen und unternehmerischen Akteuren eine gemeinsame Sichtbarkeit zu geben, muss eine entsprechende Markenbildung erfolgen. Durch einen auch international nutzbaren Slogan, der den Fokus „Service- und Alltagsrobotik“ ebenso transportiert wie den Anspruch an eine adaptiv-kollaborative autonome und mit dem Menschen interagierende Funktionsweise, soll die Region auf einen Blick charakterisiert werden.

### Kooperationen über die Region hinaus

In der Region Hannover sind sehr breit gefächerte Forschungskompetenzen im Bereich der Robotik vorzufinden. Die Forschungseinrichtungen kooperieren mit Akteuren aus der Region und darüber hin-

aus. Eine Intensivierung der Austauschbeziehungen auf regionaler Ebene sowie im überregionalen und internationalen Raum stehen in keinerlei Gegensatz zueinander. Vielmehr gilt es, bei einer Erschließung neuer Anwendungsfelder von Robotik-Lösungen bestehende Kooperationsachsen zu festigen und ggf. zu erweitern. Dabei sind die spezifischen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Kompetenzen der einzelnen Standorte in den Blick zu nehmen. Ausgehend von einem eigenständigen Profil bietet sich bspw. die Möglichkeit, gezielte Kooperationen mit Braunschweig/Wolfsburg (Industrie/Automobil), Ostwestfalen (It's OWL – Paderborn / Bielefeld), Göttingen (Messtechnik / Sensorik), Bremen (DFKI mit Laufrobotern; Anwendungen im Bereich Aerospace / Marine) und Berlin (Technik & Medizin) auszubauen. Mit der Ausbildung und Festigung solcher strategischer Kooperationsbeziehungen werden zusätzliche Impulse für die Entwicklung des Themas Service- und Alltagsrobotik in der Region Hannover gesetzt.

Auch wenn die Robotik-Potenziale der Region Hannover vor allem im wissenschaftlichen und weniger im wirtschaftlichen Bereich liegen, kann durch die hier skizzierten Handlungsansätze eine überregionale und internationale Positionierung als Standort adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme angeregt werden. Insbesondere mit einer Schwerpunktsetzung im Bereich der Service- und Alltagsrobotik ist es möglich, eine Vorreiterrolle innerhalb Deutschlands einzunehmen. Zentrales Anliegen sollte es dabei sein, die vielfältigen regionalen Forschungskompetenzen für Unternehmen aus der Region sowie die Gründung und Ansiedlung neuer Unternehmen nutzbar zu machen sowie den Technologietransfer und Wissensaustausch zwischen den entsprechenden Kompetenzträgern zu befördern. Ob die weitere Entwicklung des Standorts dabei vor allem über die Etablierung eines Systemintegrators oder über die Schaffung entsprechender Hard- bzw. Softwareplattformen erfolgen kann, ist von einer Reihe verschiedener Einflussfaktoren abhängig. Die hier skizzierten Handlungsfelder machen deutlich, dass die Weiterentwicklung der Region Hannover als Standort innovativer Robotik-Lösungen eine Kombination verschiedener innovations- und wirtschaftspolitischer Instrumente erfordert (Schaffung eines Robotik-Ökosystems für Spin-offs und Ansiedlungen, Unterstützung bei der Anbahnung und Koordination von Kooperationen, Weiterentwicklung der Aus- und Weiterbildungsangebots, Ko-Finanzierung von Innovationen im Bereich adaptiv-kollaborativer autonomer Systeme etc.). Bestehende Instrumente der regionalen Wirtschaftsförderung müssen hierfür nicht aufgegeben, deren Einsatz jedoch ggf. neu akzentuiert und an den spezifischen Anforderungen im Bereich der Robotik ausgerichtet werden. Zwar muss die Diskussion zur Weiterentwicklung der regionalen Robotik-Potenziale auf politischer Ebene geführt werden, der intensive Dialog mit den regionalen Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft ist für einen solchen Strategieprozess jedoch erfolgsentscheidend.

# 9 Interviewpartnerinnen und Interviepartner

**Wir möchten den folgenden Personen für die inspirierenden Gespräche, die spannenden Einblicke und ihre Expertise danken:**

**Prof. Dr.-Ing. Jessica Burgner-Kahrs**
Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik (LKR)
Fakultät für Maschinenbau
Leibniz Universität Hannover

**Prof. Dr.-Ing. Sami Haddadin**
Institut für Regelungstechnik (IRT)
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik
Leibniz Universität Hannover

**Prof. Dr.-Ing. Tobias Ortmaier**
Institut für Mechatronische Systeme (imes)
Fakultät für Maschinenbau
Leibniz Universität Hannover

**Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz**
Institut für Montagetechnik (match)
Fakultät für Maschinenbau
Leibniz Universität Hannover

**Dr.-Ing. Georg Ullmann**
Geschäftsführer
Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) gGmbH

# 10 Literaturverzeichnis

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Hg.) (2016): Innovationspotenziale der Mensch-Technik-Interaktion. Herbert Utz Verlag, München (acatech IMPULS), zuletzt geprüft am 10.05.2016.

Blondel, Vincent D.; Guillaume, Jean-Loup; Lambiotte, Renaud; Lefebvre, Etienne (2008): Fast unfolding of communities in large networks. In: *J. Stat. Mech.* 2008 (10), S. P10008. DOI: 10.1088/1742-5468/2008/10/P10008.

Boschma, R.; Minondo, A.; Navarro, M. (2012) "Related variety and regional growth in Spain." Papers in Regional Science 91.2: 241-256.

Botthof, Alfons; Bovenschulte, Marc (2011): Die Autonomik als integratives Technologieparameter. In: *iit Perspektive* (02), zuletzt geprüft am 10.05.2016.

Bovenschulte, Marc; Buhl, Claudia M.; Ehrenberg-Silies, Simone; Kind, Sonja; Nerger, Michael (2014): Konzept- und Potenzialstudie zum Forschungscampus Hannover-Garben. Studie im Auftrag der Wirtschaftsförderung der Region Hannover. Institut für Innovation und Technik (iit). Berlin, zuletzt geprüft am 20.05.2016.

Brandt, A.; Polom, L.; Danneberg, M. (2016) Wissensvernetzung in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg. Aktualisierung der Studie zur Wissensvernetzung in der Region 2007. Studie im Auftrag der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg.

Brandt, A. (2014): Wirtschaftsförderung 3.0: Zur Strategie der Wirtschaftsförderung in der Innovationsökonomie, in: Zukunft der Wirtschaftsförderung, Beck, C. R.; Heinze R. G.; Schmid J. (Hrsg.), Baden-Baden 2014, S. 683-713.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2015): Mensch-Technik-Interaktion im demografischen Wandel. Überblick Bekanntmachungen. Online verfügbar unter http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen, zuletzt geprüft am 21.08.2015.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hg.) (2016): Bekanntmachung Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet "Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten". Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1183.html, zuletzt aktualisiert am 25.04.2016, zuletzt geprüft am 23.05.2016.

Clusterportal Baden-Württemberg (Hg.) (2016): Webseite des Clusterportal Baden-Württemberg. Online verfügbar unter http://www.clusterportal-bw.de/, zuletzt aktualisiert am 23.05.2016, zuletzt geprüft am 03.06.2016.

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (Hg.) (2010): DIN EN ISO 8373 - Roboter und Robotikgeräte. Berlin, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

Dömötör, R. (2011) Erfolgsfaktoren der Innovativität von kleinen und mittleren Unternehmen, Heidelberg.

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016): Robotik im Wandel. Hg. v. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (EFI Gutachten). Online verfügbar unter http://www.e-fi.de/fileadmin/Inhaltskapitel_2016/EFI_2016_B2.pdf, zuletzt geprüft am 12.05.2016.

Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum / acatech (Hg.) (2016): Fachforum Autonome Systeme. Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Zwischenbericht. München. Online verfügbar unter

http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Sonderpublikationen/acatech_HFT_Broschuere_web.pdf, zuletzt geprüft am 02.05.2016.

Franz, P. (2002): Regionale Wettbewerbsfähigkeit durch Erzielung von Wissensvorsprüngen? Für und Wider neuerer Theorieansätze. In: Heinrich, C.; Kujath, H.J. (Hrsg.): Die Bedeutung von externen Effekten und Kollektivgütern für die regionale Entwicklung. Münster, Hamburg, London, S. 39-53.

Genosko, J. (1999): Regionale Innovationsnetzwerke und Globalisierung. In: Fuchs, G./Krauss, G./Wolf, H.-G. [Hrsg.]: Die Bindungen der Globalisierung. Interorganisationsbeziehungen im regionalen und globalen Wirtschaftsraum. Marburg. S. 309-328.

Gründerszene.de (Hg.) (2015): Siemens steigt bei Roboter-Startup Magazino ein. Online verfügbar unter http://www.gruenderszene.de/allgemein/siemens-magazino, zuletzt geprüft am 27.05.2016.

Hannoversche Allgemeine Zeitung (Hg.) (2015): Hannover soll führender Robotikstandort werden. Neues Konzept von Uni und Region. Online verfügbar unter http://www.haz.de/Hannover/Aus-der-Stadt/Uebersicht/Hannover-soll-fuehrender-Robotikstandort-werden, zuletzt aktualisiert am 25.11.2015, zuletzt geprüft am 24.05.2016.

Hauß, Yorck; Timpe, Klaus-Peter (2002): Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In: Klaus-Peter Timpe, Thomas Jürgensohn und Harald Kolrep (Hg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik. Düsseldorf: Symposion, S. 48.

Hegmann, Gerhard (2016): China will Arbeiter mit deutschen Robotern ersetzen. Die Welt. online. Online verfügbar unter http://www.welt.de/wirtschaft/article155460467/China-will-Arbeiter-mit-deutschen-Robotern-ersetzen.html, zuletzt aktualisiert am 18.05.2016.

Heinrich, Anet; Kempa, Heiko; Kerbusch, Jochen; Spitzner, Eike-Christian (2016): Datenökonomie und digitale Effizienz - Die Reduktion und Abstraktion von Daten in der vernetzten Welt. In: Volker Wittpahl (Hg.): Digitalisierung: Bildung - Technik - Innovation. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (iit-Themenband), S. 51–59.

Heßler, Martina (2014): Die Halle 54 bei Volkswagen und die Grenzen der Automatisierung. Überlegungen zum Mensch-Maschine-Verhältnis in der industriellen Produktion der 1980er-Jahre. In: *Zeithistorische Forschungen/Studies in Contemporary History* 11 (1/14), S. 56–76, zuletzt geprüft am 18.07.2016.

IHK Hannover (Hg.) (2016): Weiterbildungsangebot 2. HJ 2016. Online verfügbar unter https://www.hannover.ihk.de/fileadmin/data/Dokumente/Themen/Aus-_und_Weiterbildung/Weiterbildung/WB-Programm_2HJ_2016-internet.pdf, zuletzt geprüft am 26.05.2016.

iTiZZiMO AG (Hg.) (2016): Firmenhomepage. Online verfügbar unter http://www.itizzimo.com/, zuletzt geprüft am 03.06.2016.

KBee AG (Hg.) (2016): Webseite der KBee AG zum Leichtbauroboter FRANKA EMIKA. Online verfügbar unter https://www.franka.de/, zuletzt geprüft am 24.05.2016.

Knight, Will (2015): Netter Versuch! In: *Technology Review* (7), S. 10–11.

KUKA Roboter GmbH (Hg.) (2016): Webseite KUKA, Leichtbauroboter. Online verfügbar unter http://www.kuka-robotics.com/germany/de/products/industrial_robots/sensitiv/start.htm, zuletzt geprüft am 03.06.2016.

Mameli, F.; Iammarino, S.; Boschma, R. (2012) "Regional variety and employment growth in Italian labour market areas: services versus manufacturing industries." Working Paper. Birkbeck College, University of London.

Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover (Hg.) (2016a): Webseite des MZH - Mechatronik-Kolloquien. Online verfügbar unter http://www.mzh.uni-hannover.de/kolloquium00.html, zuletzt geprüft am 03.06.2016.

Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover (Hg.) (2016b): Webseite des MZH - Organisation. Online verfügbar unter http://www.mzh.uni-hannover.de/organisation.html, zuletzt geprüft am 23.05.2016.

Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover (Hg.) (2016c): Webseite des MZH - Tutorium Student Accelerator Robotics and Automation. Online verfügbar unter http://www.mzh.uni-hannover.de/339.html, zuletzt geprüft am 23.05.2016.

Perfektionisten GmbH (Hg.) (2016): Firmenhomepage. Online verfügbar unter https://www.projektionisten.de/leistungen/leistungen-app-entwicklung, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

Pittman, Kagan (2016): Ford Gets Swept Up in Industry 4.0 Collaborative Robot Craze. Hg. v. engineering.com. Online verfügbar unter http://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12657/Ford-Gets-Swept-Up-in-Industry-40-Collaborative-Robot-Craze.aspx, zuletzt geprüft am 18.07.2016.

Rammer, C.; Zimmermann, V.; Müller, E.; Heger, D.; Aschoff, B.; Reize, F. (2006) Innovationspotenziale von kleinen und mittleren Unternehmen, Mannheim.

Sheridan, Thomas B.; Verplank, William L. (1978): Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. MIT Man-Machines-Systems Laboratory Report. MIT. Cambridge, MA.

Siebel, W. (2015): Die Kultur der Stadt, STADT: Surkamp.

SoftBank Robotics (Hg.) (2016): Robot SDK. Online verfügbar unter https://developer.softbankrobotics.com/, zuletzt geprüft am 14.07.2016.

Statista GmbH (2016): Anzahl der Betriebe im Maschinenbau in Deutschland nach Bundesland im Jahr 2015. Online verfügbar unter http://de.statista.com/statistik/daten/studie/236327/umfrage/anzahl-der-betriebe-im-maschinenbau-in-deutschland-nach-bundesland/.

Strambach, S. (2011): Herausforderungen der Wissensökonomie: Strukturen, Prozesse und neue Dynamiken im globalen Strukturwandel. In: RegioPol 1+2/2011, S.25-33.

Strese, Hartmut; Seidel, Uwe; Knape, Thorsten; Botthof, Alfons (2010): Smart Home in Deutschland. Hg. v. Institut für Innovation und Technik (iit). Institut für Innovation und Technik (iit). Berlin. Online verfügbar unter http://www.iit-berlin.de/de/publikationen/smart-home-in-deutschland//at_download/download, zuletzt geprüft am 21.08.2015.

Sukowski, O. (2002): Der Einfluss der Kommunikationsbeziehungen auf die Effizienz des Wissenstransfers – Ein Ansatz auf Basis der Neuen Institutionenökonomie. Dissertation Universität St. Gallen.

Technische Universität Illmenau (2013): Roreas. Online verfügbar unter http://www.roreas.org/, zuletzt geprüft am 21.08.2015.

Thierstein, A.; Wiese, A. (2011): Die Wissensökonomie als urbane Zukunft? In: RegioPol – Zeitschrift für Regionalwirtschaft, Nr. 1+2/2011, S. 149-158.

ULIXES Robotersysteme GmbH (Hg.) (2016): Firmenhomepage. Online verfügbar unter http://www.ulixes.de/softwaresystem.aspx, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

VDE (Hg.) (2016): Doktorand aus Hannover entwickelt neues Assistenzsystem für die minimalinvasive Cochlea-Implantat-Chirurgie. Unter Mitarbeit von Melanie Unseld. Frankfurt am Main (29/2016). Online verfügbar unter

https://www.vde.com/de/Verband/Pressecenter/Pressemeldungen/Fach-und-Wirtschaftspresse/2016/Documents/29-16_DGBMT_Klee-Preistr%C3%A4ger%202016.pdf, zuletzt geprüft am 17.05.2016.

van Oort, F.; de Geus, S.; Dogaru, T. (2014) "Related variety and regional economic growth in a cross-section of European urban regions." European Planning Studies: 1-18.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hg.) (1990): Montage- und Handhabungstechnik. Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole. Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Düsseldorf (VDI Richtlinie, 2860).

Wahlster, Wolfgang (2016): Bericht aus der AG 5 Technologische Wegbereiter. 2. Treffen Fachforum Autonome Systeme am 10.02.2016 im BMBF, Berlin. Hg. v. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften / Hightech Forum.

Wissenswerft GmbH (Hg.) (2016): Firmenhomepage. Online verfügbar unter http://wissenswerft.net/portfolio/app-development/, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

# 11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Branchen und Anwendungsfelder von Industrie- und Servicerobotern. (Abbildung angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016)). 6

Abbildung 2: Verteilung der Industrieroboterbestände in Deutschland auf die wichtigsten Branchen – 2014. (Angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016)). 7

Abbildung 3: Global verkaufte Stückzahlen von Service- und Industrierobotern. (Angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016)). Die hohen Stückzahlen bei der Servicerobotik resultieren aus der Berücksichtigung auch einfacher robotischer Geräte wie beispielsweise Staubsaug- oder Rasenmähroboter. 8

Abbildung 4: Globaler Umsatz, der durch den Verkauf von Service- und Industrierobotern erwirtschaftet wurde. (Angepasst nach Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016) sowie eigene Berechnungen). Trotz der kleineren Stückzahl bleibt die Industrierobotik die umsatzstärkere Teilbranche. 9

Abbildung 5: Referenzarchitektur autonom-adaptiver Systeme. Die Architektur fokussiert primär auf Fragen der „Intelligenz“ technischer Systeme und die damit verbundenen Domänen Selbstregulation, Kognition und Interpretation, Lernen und Schlussfolgern, Planung und Planerkennung sowie Kommunikation und Kollaboration. In den Sub-Domänen werden diese Anforderungen weiter aufgeschlüsselt (Quelle: iit 2016 in Anlehnung an Wahlster 2016). 12

Abbildung 6: Exemplarische Kategorisierung der für autonome Systeme grundlegend nötigen technologischen Komponenten unter Rückgriff auf die in Abbildung 5 dargestellte Referenzarchitektur (Quelle iit 2016). 13

Abbildung 7: Organisation des Mechatronik-Zentrums Hannover gemäß der 16 beteiligten Einzelinstitute (zzgl. der TEWISS GmbH) und der von ihnen repräsentierten fachlichen Expertise (Nach: (Mechatronik-Zentrum der Leibniz Universität Hannover 2016b)). 18

Abbildung 8: Forschungsgebiete der Robotik für den Standort Deutschland 25

Abbildung 9: Forschungsgebiete der Robotik für den Standort Hannover 27

Abbildung 10: In welchem Wirtschaftszweig ist ihr Unternehmen tätig? Der Sektor „Maschinen- und Anlagenbau/Produktionstechnik wurde in Unterkategorien aufgeschlüsselt. X-Achse: Anzahl Unternehmen (N = 69). Ergebnisse aus einer Unternehmensbefragung in der Region Hannover vom August/September 2013 (Quelle: Bovenschulte et al. 2014, S. 68). 31

Abbildung 11: Welche Themen und Inhalte könnten aus Sicht Ihres Unternehmens im Sinne einer inhaltlichen Klammer den neuen Campus prägen? Welche Relevanz haben aus Ihrer Sicht die nachfolgenden Themen. Ergebnisse aus einer Unternehmensbefragung in der Region Hannover vom August/September 2013. Die höchste Priorität wurde mit drei Punkten, die zweithöchste mit zwei und die dritthöchste mit einem Punkt gewichtet. X-Achse = Anzahl Punkte. N = 69 (Quelle: Bovenschulte et al. 2014, S. 72). 32

Abbildung 12: Anwenderpotenzial in der Region Hannover. Regionale Unternehmen, die aufgrund ihrer Innovations- und Forschungsstärke in besonderer Weise für die Anwendung von Robotik-Lösungen prädestiniert sind. 34

Abbildung 13: Anbieterpotenzial in der Region Hannover. Regionale Unternehmen, die aufgrund ihrer technologischen Kompe-tenzprofile ein hohes Potenzial für die Entwicklung von Robotik-Lösungen aufweisen oder bereits mit eigenen Produkten am Markt vertreten sind. 35

Abbildung 14: Vernetzung in sechs Kompetenzfeldern in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg 38

Abbildung 15: Verteilung und Vernetzungsstruktur der Netzwerkakteure in der Region Hannover in den Kompetenzfeldern Produktionstechnik und IuK-Wirtschaft 39

Abbildung 16: Verteilung und Vernetzungsstruktur der Netzwerkakteure aus der Region Hannover in den Kompetenzfeldern Produktionstechnik und IuK-Wirtschaft 40

Abbildung 17: Anzahl der Betriebe im Maschinenbau in Deutschland nach Bundesland im Jahr 2015 (Quelle: Statista GmbH 2016, eigene Darstellung) 57

# 12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Automatisierungsstufen nach Sheridan und Verplank 1978, zitiert nach Hauß und Timpe 2002. 10

Tabelle 2: Kategorisierung autonomer technischer Systeme, aus denen sich eine zunehmende Aufgabenkomplexität und Interaktion mit dem Menschen ableitet (Quelle: Botthof und Bovenschulte 2011). 11

Tabelle 3: Aufschlüsselung zentraler Technologien für die in Abbildung 6 dargestellte Kategorisierung der Fähigkeiten autonomer Systeme (Quelle: iit 2016). 15

## 13 Übersicht regionaler Forschungseinrichtungen

**Forschungseinrichtungen aus der Region Hannover, die Anknüpfungspunkte für die Entwicklung von Robotik-Lösungen bieten:**

### Leibniz Universität Hannover

| | Forschungsschwerpunkte (Auswahl) |
|---|---|
| **Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie** | |
| Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik (ibnm) | • Numerische Simulationsmethoden für Probleme der Festkörper-Kontinuumsmechanik (z.B. Kontakt- und Interface Probleme)<br>• Materialmodellierung (z.B. Gummi und Biomaterialien)<br>• Strukturdynamik (z.B. rotierende Maschinen und Räder im Rollkontakt) |
| Geodätisches Institut Hannover (GIH) | • Laserscanning<br>• Kinematische Messsysteme<br>• Sensornetze<br>• Modellierung und Simulation<br>• Datenintegration |
| Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) | • Geometrische Aspekte von Sensoren<br>• Interpretation von Fernerkundungsdaten<br>• Automatische Bildinterpertation<br>• Nahbereichsphotogrammetrie |
| **Fakultät für Mathematik und Physik** | |
| Institut für Angewandte Mathematik | • Algorithmische Optimierung<br>• Angewandte Analysis<br>• Modellbildung<br>• Numerische Analysis (z.B. dynamischer Kontakt mit Reibung und Ablösung, elektromagnetische Streuprobleme, numerische Simulationen für geodätische Aufgaben etc.) |
| Institut für Festkörperphysik (FKP) | • Spektroskopie<br>• Nanostrukturen<br>• Quantentransport<br>• Atomare Strukturen |
| Institut für Quantenoptik (IQO) | • Laserphysik<br>• Quantensensorik |
| **Fakultät für Elektrotechnik und Informatik** | |
| Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IiL) | • Zeiteffiziente Berechnungsmethoden für die Kenngrößen und das Betriebsverhalten von Maschinen<br>• Entwicklung von Mikromotoren (rotierende und Linear-Motoren)<br>• Entwurf und Optimierung von Wicklungen, insbesondere Zahnspulenwicklungen<br>• Berechnung elektromagnetischer und mechanischer Beanspruchungen in Antriebssystemen während Ausgleichsvorgängen<br>• Berechnung elektromagnetisch erregter Schwingungen<br>• Mechatronische Systeme z. B. unter Nutzung von Linear-Direktantrieben |

| | |
|---|---|
| Institut für Grundlagen der Elektro- und Messtechnik (GEM) | • Analytische Systemmodellierung und FEM-Simulationen (multi-physics)<br>• Mikrosystemtechnik: Technologie- und -Designkompetenz<br>• Sensorentwicklung / Sensoren und Messsysteme für die Medizin-technik, Biotechnologie, Umweltmesstechnik und Sicherheitstechnik<br>• Prototypenbau bis hin zu Kleinserienfertigung<br>• Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder<br>• Untersuchung der Verwundbarkeit von kritischen Infrastrukturen<br>• Risikoanalyse des Ausfallverhaltens von elektronischen Systemen |
| Institut für Regelungstechnik (IRT) | • Robotik<br>• Machine Learning<br>• Automatic Control<br>• Intelligente Assistenzsysteme |
| Institut für Mensch-Maschine-Kommunikation | • Interaktionstechniken für mobile, eingebettete und ubiquitäre Syste-me<br>• Crowdsourcing<br>• Differentialgeometrie<br>• Physikalische Simulation und Virtual Reality<br>• Medizinische Datenverarbeitung und Visualisierung |
| Institut für Praktische Informatik | • Requirements Engineering<br>• Apps und Web Engineering<br>• Informationsflussanalyse<br>• Szenariobasierte Softwarespezifikationen<br>• Datenbanken und Informationssysteme |
| Institut für Systems Engineering (ISE) | • Echtzeitsysteme und Mobile Service-Roboter (z.B. autonome Trans-portsysteme, Robotic FireFighters etc.)<br>• Adaptive und selbst-organisierende Systeme (Organic Computing) und deren Anwendung in Robotik, Verkehrswesen und Kommunikati-onstechnik<br>• Modellierung von komplexen Systemen mittels diskreter Simulatio-nen, stochastischen Petri-Netzen und Agentensystemen.<br>• Analyse von Modellen anhand von analytischen Verfahren sowie Warteschlangennetzwerken |
| Institut für Verteilte Systeme | • Artificial Intelligence<br>• Adaptive Hypermedia-Systeme<br>• Peer-to-Peer-Systeme<br>• Big Data<br>• IT-Sicherheit in Verteilten Systemen<br>• Grid-Computing<br>• Management komplexer IT-Infrastrukturen |
| Institut für Hochfrequenztechnik und Funk-systeme (HFT) | • Funksysteme (z.B. Radar- und Sensorsysteme, Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC) etc.)<br>• Messtechnik (z.B. Antennenmesstechnik, Materialcharakterisierung, Netzwerk- und Spektrumanalyse, On-Wafer-Messtechnik, Schirm-dämpfung von Hochvoltkabeln (EMV) etc.)<br>• Antennen (z.B. Mehrantennensysteme (MIMO), Multimode-Diversityantennen, 3D Multiband- und Breitbandantennen etc.) |
| Institut für Informationsverarbeitung (tnt) | • Automatische Bildinterpretation, Computer Vision, Biomedizinische Bildanalyse<br>• Multimedia Signalverarbeitung<br>• Digitale Erfassung und Analyse menschlicher Bewegung |
| Institut für Kommunikationstechnik (IKT) | • Nachrichtenübertragungssysteme (z.B. Industrial Communications, Public and Safety Communications, Multimedia Communications etc.)<br>• Kommunikationsnetze (z.B. Cognitive Radio Networks, Future Internet, Network Performance Analysis, Vehicular Communications etc.) |
| Institut für Mikroelektronische Systeme (ims) | • Entwurf hochintegrierter mikroelektronischer Schaltungen (Chip- |

| | |
|---|---|
| | Design)<br>• Hauptanwendungsgebiete der entwickelten mikroelektronischen Systeme sind die Biomedizintechnik, elektronische Fahrerassistenz-systeme und die Multimediasignalverarbeitung |

| **Fakultät für Maschinenbau** | |
|---|---|
| Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) | • Dynamik rotierender Maschinen<br>• Kontaktmechanik und Reibung<br>• Nichtlineare Strukturdynamik<br>• Piezo- & Ultraschalltechnologie |
| Lehrstuhl für Kontinuumsrobotik | • Design und Konstruktion von Kontinuumsrobotern<br>• Echtzeitfähige Methoden zur Berechnung, Modellierung, Bewegungserzeugung sowie aufgaben- und situationsadaptiven Steuerung und Regelung von Kontinuumsrobotern<br>• Optimierungsverfahren zur aufgaben- und anwendungsoptimalen Parametrierung von Manipulatoren<br>• Mensch-Maschine-Interaktion |
| Institut für Mechatronische Systeme (imes) | • Robotik und autonome Systeme<br>• Vernetzte Systeme und maschinelles Lernen<br>• Medizintechnik und Bildbearbeitung<br>• Identifikation und Regelung |
| Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) | • Fertigungsmess- und Prüftechnik (FMPT)<br>• Industrielle und Medizinische Bildverarbeitung<br>• Regelungstechnik<br>• Akustik |
| Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (iPeG) | • Optomechatronik<br>• Computer Aided Engineering<br>• Getriebetechnik und Gerätebau |
| Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) | • Fertigungsprozesse, Maschinen und Steuerungen sowie Fertigungsorganisation<br>• Fertigungsverfahren unter den verschärften Material- und Prozessanforderungen (z. B. in der Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt etc.)<br>• Sonderforschungsbereich "Gentelligente Bauteile" |
| Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) | • FVK-Metall-Hybride<br>• Warmblechumformung<br>• Tribologie<br>• Prozessüberwachung<br>• Biomedizintechnik |
| Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) | • Mikroaktorik und Mikrosensorik<br>• mechanische Mikrobearbeitung und -montage<br>• Aufbau- und Verbindungstechnik<br>• Mikrotribologie |
| Institut für Montagetechnik (match) | • Entwicklung von Maschinenkonzepten für die Handhabung, Montage und Fertigungsautomatisierung<br>• Konzipierung von robotergestützten Handhabungsvorgängen<br>• Entwicklung und Optimierung von Handhabungs- und Montageprozessen<br>• Intelligente Maschinenkomponenten auf Basis von Smart Materials |
| Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) | • Intralogistik<br>• Transport- und Automatisierungstechnik (z.B. Energieeffizienz, Messdatenerfassung und deren automatisierte Auswertung etc.)<br>• Aufbau- und Verbindungstechnik zum Zwecke der Integration von elektronischen Komponenten in Anlagen und Bauteile |
| Institut für Werkstoffkunde (IW) | • Biomedizintechnik und Leichtbau |

| | |
|---|---|
| | • Füge- und Oberflächentechnik<br>• Technologie der Werkstoffe<br>• Zerstörungsfreie Prüfverfahren |
| TEWISS – Technik und Wissen GmbH | • Sondermaschinen- und Prototypenbau (Automatisierte Handhabungs- und Montageanlagen, Laboranlagen und Maschinen für den Laborbetrieb, Steuerungen, mechatronische Komponenten, Antriebstechnik, Prüfstände, prozessintegrierte Messmethoden etc.)<br>• Förderung akademischer Hightech-Ausgründungen und Veranstaltungsmanagement |

| **Juristische Fakultät** | |
|---|---|
| Institut für Rechtsinformatik | • Datenschutz- und Datensicherheitsrecht<br>• Rechtstheoretische und rechtsinformatische Fragen des Einsatzes von Informationstechnologie<br>• Immaterialgüterrechtliche Fragen der Informationstechnologie<br>• Immaterialgüterrecht, insbesondere Patent- und Markenrecht<br>• Haftungs- und Schadensrecht<br>• Recht des Geistigen Eigentums |
| Kriminalwissenschaftliches Institut (v.a. Lehrstuhl für Strafrecht, Strafprozessrecht, Strafrechtsvergleichung und Rechtsphilosophie) | • Menschenrechte und Robotik, Menschenwürde und Mensch-Maschine-Systeme, Technisierung des Menschen<br>• Google-Cars, Software-Agents, Autonome Waffensysteme: neue Herausforderungen für das Strafrecht?<br>• Intelligente Agenten und Strafrecht (Fahrlässigkeit, Verantwortungsverteilung, elektronische Personalität)<br>• Regelungen zum Cybercrime im materiellen Strafrecht in Deutschland |

| **Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät** | |
|---|---|
| Institut für Produktionswirtschaft | • Supply Chain and Production Planning<br>• Revenue Management and Regeneration<br>• Stochastische Analyse und Optimierung |
| Institut für Wirtschaftsinformatik | • Künstliche Neuronale Netze und Neurosimulation<br>• Geschäftsmodelle und Akzeptanzmodelle<br>• Szenario- und Wirtschaftlichkeitsanalysen<br>• Informationssicherheit<br>• Scheduling und Logistik<br>• intelligente Stromnetze und neue Mobilität (Elektromobilität) |

## Hochschule Hannover

| | |
|---|---|
| Fakultät I - Elektro- und Informationstechnik | • Fahrerlose Transport Fahrzeuge (FTF)<br>• Stochastische Umfeldmodellierung für sicherheitsrelevante Anwendungen im Kraftfahrzeug<br>• Autonomes Sensorsystem für differenzierte Bewegungsanalysen<br>• Sicherheitsanalyse von Automatisierungssystemen<br>• Angewandte Mikrosysteme für die mittelständische Industrie (Positions- und Hinderniserkennungssensorik für fahrerlose Transportfahrzeuge, Entwicklung eines optischen Sensors zur Messung hoher Spannungen, Neue Verfahren der Lichtmesstechnik, Entwicklung und Applikation intelligenter Mikrosensoren) |
| Fakultät II - Maschinenbau und Bioverfahrenstechnik | • Mechatronik, Automatisierung und Robotik<br>• Digitale Fabrik und Produktentwicklung<br>• Werkzeugmaschinen, Fertigungstechnik und Montage |

| | |
|---|---|
| | • Förder- und Handhabungstechnik, Logistik und Materialflusstechnik<br>• Ressourceneffizienz in der Prozessindustrie<br>• Konstruktion und virtuelle Produktentwicklung im Kontext von Industrie 4.0 und Elektromobilität |
| Fakultät IV - Wirtschaft und Informatik (v.a. Software Architecture research group) | • Complex Event Processing (Semantische Sensornetzwerke, intelligente und agile Verarbeitung von M2M-Ereignissen)<br>• Ereignisgesteuerte Laborlogistik mit RFID<br>• Basisarchitektur für mobile Anwendungen in spontanen Netzen<br>• Echtzeit-Sicherheit bzw. Visualisierung der Sicherheit moderner IT-Infrastrukturen auf der Basis von Metadaten<br>• Vertrauenswürdige Zugriffssteuerung in Netzwerken auf Basis von Trusted Computing<br>• Qualitative und quantitative Visualisierung von sprachautomatisierten Dialogprozessen<br>• Neue Werkzeuge zur Analyse und Visualisierung großskaliger biomedizinischer Daten |

## Medizinische Hochschule Hannover (MHH)

| | |
|---|---|
| Klinik für Augenheilkunde | • Entwicklung und Steuerung von magnetischen Minirobotern im menschlichen Auge |
| Klinik für Hals-, Nasen- Ohrenheilkunde | • Computer- und roboterassistierte Chirurgie zur atraumatischen Insertion von Reizelektroden und mechanischen Aktuatoren in das Innenohr und in das zentrale Hörsystem<br>• Minimal-invasive Cochlea-Implantat-Versorgung (Projekt RoboJig) |
| Klinik für Unfallchirurgie | • Computer-assistierte Chirurgie mit Robotik<br>• Verfahren zur verbesserten intraoperativen Bildgebung mit navigations- und robotikgestützten Verfahren<br>• Roboterassistierte Frakturversorgung (z.B. langer Röhrenknochen)<br>• Roboterassistierte Umstellungsosteotomie |

## Außeruniversitäre Forschung

| | |
|---|---|
| Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) gGmbH | • automatische Identifikationstechnologien (Auto-ID)<br>• innovative Automatisierungskonzepte und -lösungen<br>• Enterprise Ressource Planning (ERP) bzw. Manufacturing Execution Systeme (MES)<br>• Fabrikplanung und Fertigungsverfahren |
| Laser Zentrum Hannover e.V. | • Fertigungsprozesse und Materialbearbeitung (inkl. additive Fertigung)<br>• Optische Komponenten und Systeme<br>• Optische Produktionstechnologien<br>• Biomedizinische Photonik |
| International Neuroscience Institute GmbH (INI) | • Neurochirurgie, Orthopädie, Anästhesie<br>• Medizintechnik<br>• Experimentelle und klinische Forschung |