



INSTITUT FÜR
TECHNIKFOLGEN
ABSCHÄTZUNG

PROJEKTBERICHT

www.oeaw.ac.at/ita

Robotik in Österreich

Kurzstudie – Entwicklungsperspektiven
und politische Herausforderungen

Robotik in Österreich

Kurzstudie – Entwicklungsperspektiven
und politische Herausforderungen

Endbericht

Institut für Technikfolgen-Abschätzung
der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Projektleitung: Johann Čas

AutorInnen: Johann Čas
Gloria Rose
Lisa Schüttler

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Wien, Juli 2017

IMPRESSUM

Medieninhaber:

Österreichische Akademie der Wissenschaften
Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 130/2003)
Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

Herausgeber:

Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA)
Apostelgasse 23, A-1030 Wien
www.oeaw.ac.at/ita

Die ITA-Projektberichte erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung. Die Berichte erscheinen in geringer Auflage im Druck und werden über das Internetportal „epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt:

ITA-Projektbericht Nr.: 2017-03
ISSN: 1819-1320
ISSN-online: 1818-6556
epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/2017-03.pdf

© 2017 ITA – Alle Rechte vorbehalten

Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Robotik international: Kurz- und mittelfristige Entwicklungsperspektiven	9
1.1 Einleitung	9
1.2 Grundlagen	10
1.2.1 Künstliche Intelligenz	11
1.2.2 Autonome Robotik	11
1.2.3 Evolution der Robotik	12
1.2.4 Begriffserläuterungen	13
1.3 Aktuelle Entwicklungen	17
1.3.1 Marktentwicklung	17
1.3.2 Forschungslandschaft	19
1.4 Anwendungsbereiche	22
1.4.1 Fertigungsbereich	24
1.4.2 Gesundheitswesen	25
1.4.3 Landwirtschaft	29
1.4.4 Militärbereich	30
1.4.5 Ziviler Bereich	31
1.4.6 Kommerzieller Bereich	34
1.4.7 Logistik & Transport	35
1.4.8 Konsumentenroboter	37
1.5 Gesellschaftliche, ethische und rechtliche Herausforderungen	40
1.5.1 Arbeitswelt	40
1.5.2 Ethik	46
1.5.3 Recht	50
1.5.4 Soziales	53
1.5.5 Security	55
2 Robotik in Österreich: ExpertInnen und Stakeholder	57
2.1 Aufbau und Struktur der Interviews	57
2.2 Einschätzungen der ExpertInnen	58
2.2.1 Erwartete Entwicklungstrends der nächsten 5-10 Jahre	58
2.2.2 Mit den erwarteten Entwicklungen verbundene Herausforderungen	60
2.2.3 Stärken und Schwächen Österreichs	62
2.3 Akteure in Österreich	63
3 Schlussfolgerungen	65
Literatur	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Roboter-Blockschema.....	10
Abbildung 2: Entwicklung der Versorgung mit Industrierobotern.....	18
Abbildung 3: Industrieroboterichte in ausgewählten Ländern.....	18
Abbildung 4: Domänen der Robotik.....	23
Abbildung 5: Inputkosten und optimaler Automatisierungsgrad.....	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anwendungs- und Sub-Domänen der Robotik.....	23
Tabelle 2: Interviewte ExpertInnen.....	58
Tabelle 3: Relevante Universitäts- und Fachhochschulinstiute.....	63

Zusammenfassung

Die Robotik ist in vielfacher Hinsicht durch eine sehr dynamische Entwicklung gekennzeichnet. Dies betrifft sowohl die Industrie, in der Roboter zunehmend komplexere Aufgaben, auch in direkter Zusammenarbeit mit Menschen, erfüllen sollen, als auch den Dienstleistungsbereich. Auch hier beginnen Roboter Tätigkeiten zu übernehmen, welche bislang als Domäne menschlicher Autonomie oder soziale Kompetenz galten, wie die Beispiele selbst fahrende Fahrzeuge oder die Entwicklung von Pflegerobotern zeigen.

Die gegenwärtige Entwicklungsphase ist durch einen Übergang zu autonomen Robotern gekennzeichnet. Roboter können zunehmend durch leistungsfähige Sensoren und „intelligente“ Steuerungstechnik auf veränderte Umweltbedingungen reagieren und, wenngleich in eingeschränktem Maße, entsprechende Entscheidungen treffen. Sie können nicht nur auf Basis vorprogrammierter Muster Aufgaben ausführen, sondern in einem bestimmten Rahmen autonom tätig werden, ohne einer ständigen Überwachung durch Menschen oder externe Computer zu bedürfen. Wenngleich in einer der Basistechnologien für autonome Roboter, der „künstlichen Intelligenz“, große Fortschritte zu verzeichnen sind, werden Systeme, welche in universeller Weise menschliche Aufgaben übernehmen können, noch für längere Zeit Visionen bleiben.

Nichtsdestoweniger lassen sich die zunehmenden Fähigkeiten auch an der Ausdifferenzierung des Forschungsfeldes ablesen: soziale Robotik, kollaborative Robotik, bio-inspired Robotik, Schwarmroboter und Nanorobotik werden als spezifische Bereiche in diesem Zwischenbericht skizziert. Die Dynamik spiegelt sich aber auch in Marktdaten wider; sowohl für Industrieroboter als auch für privat genutzte Serviceroboter werden für die nächsten Jahre zweistellige prozentuale Wachstumsraten erwartet.

Neben dem Fertigungsbereich gelten das Gesundheitswesen, die Land- und Forstwirtschaft, der zivile Bereich, der kommerzielle Bereich, Logistik & Transport, Roboter für private KonsumentInnen sowie der Militärbereich als zentrale Anwendungsgebiete, welche in diesen Zwischenbericht aufgenommen wurden und hinsichtlich des gegenwärtigen Standes und der kurz- bis mittelfristigen Entwicklungsperspektiven skizziert werden.

Die rasante Entwicklung der Robotik bringt eine Reihe von gesellschaftlichen, ethischen und rechtlichen Herausforderungen mit sich. Diese Herausforderungen beziehen sich einerseits darauf, die gebotenen wirtschaftlichen Potenziale optimal zu nutzen und die dabei gewonnenen Vorteile innerhalb der Gesellschaft zu verteilen, andererseits Anwendungen der Robotik so zu gestalten, dass sie sozialen, ethischen und rechtlichen Kriterien entsprechen sowie Sicherheitsaspekte angemessen berücksichtigen.

Im Bereich der Arbeitswelt stellen die quantitativen Wirkungen auf den Arbeitsmarkt eine zentrale Herausforderung dar. Wenngleich, oder besser gesagt, gerade weil die Einschätzungen der Rationalisierungspotenziale stark

Stand der Entwicklung

Typen der Robotik und Anwendungsbereiche

Herausforderungen

Arbeitsmarkt

variieren und die endgültigen Effekte von einer Vielzahl von Faktoren abhängen, ist die Gestaltung der regulativen Rahmenbedingungen von zentraler Bedeutung.

Ethik Im Rahmen einer Vielzahl von ethischen Herausforderungen sticht die Autonomie hervor. Dabei geht es vor allem darum, fortgeschrittene Robotersysteme so zu gestalten, dass deren Autonomie die menschlichen Gestaltungsspielräume und Freiheiten erhöhen und nicht einschränken. Im Bereich der Pflege ist dabei zum Beispiel die freie Entscheidung darüber betroffen, inwieweit die Betreuung durch Roboter gewünscht oder abgelehnt wird. Ethische Überlegungen können aber auch zu Einschränkungen der individuellen Entscheidungsfreiheit führen, wenn etwa zum Beispiel die Funktionalität von Prothesen die der entsprechenden biologischen Körperteile übersteigt und dies aus ethischen Überlegungen unerwünscht erscheint.

Rechtliche Situation Die rechtliche Situation der Robotik ist ebenfalls durch komplexe Herausforderungen gekennzeichnet. Einerseits werden hier generelle Leitlinien diskutiert, welche ethische Prinzipien und die Charta der Grundrechte der Europäischen Union in konkrete rechtliche Akte transferieren sollen, andererseits sind im Bereich der Haftung, des Datenschutzes und der Transparenz viele Fragen noch ungeklärt. Transparenz spielt auch für die beiden erstgenannten Bereiche eine wichtige Rolle, wenn es etwa darum geht, auf welcher Basis Entscheidungen getroffen werden oder welche Daten generiert und auf welche Art verarbeitet werden. Beide Fragen, die der Haftung und des Datenschutzes, stellen sich insbesondere im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren.

Soziale Beziehungen Auf einer ökonomischen Makroebene beeinflusst die Robotik die Finanzierung des Sozialsystems. Derzeit stellen an Lohneinkommen gebundene Abgaben die wichtigsten Beiträge dar. Ein Ersatz von menschlicher Arbeit durch Roboter belastet daher das Sozialsystem in zweifacher Weise, sinkende Einnahmen und erhöhte Ausgaben. Auf einer individuell sozialen Ebene sind die Wirkungen von sozialer Robotik auf die Frequenz und die Intensität zwischenmenschlicher Kontakte weitgehend unerforscht.

Sicherheit Roboter sind, wie alle vernetzten IKT-Systeme, der Gefahr von Hackerangriffen ausgesetzt. Die mechanischen Fähigkeiten und die Mobilität von Robotern bringen zusätzliche Risiken mit sich; übernommene Roboter könnten dazu dienen, gezielt bestimmte Bereiche auszuspiionieren oder aber im Fall von autonomen Fahrzeugen Unfälle verursachen oder auch gezielte Attacken ausführen.

Rolle der Politik Die im Bericht erörtert Herausforderungen sind zeitlich auf unterschiedlichen Ebenen angesiedelt; sie reichen von aktuellen Fragen, etwa den Wirkungen auf den Arbeitsmarkt, bis zu eher langfristigen Perspektiven, zum Beispiel Haushalts- oder Pflegeroboter, welche ein breites Spektrum an Aufgaben autonom durchführen können. Die Politik besitzt große Verantwortung auf all diesen Ebenen, indem sie rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz von Robotertechnologien vorgibt als auch durch Leitlinien deren zukünftige Entwicklung gestalten kann.

Die im Rahmen der Interviews befragten österreichischen ExpertInnen erwarten für die nähere Zukunft keine großen Revolutionen, sondern eher eine evolutionäre Entwicklung. Während grundsätzlich die Bedeutung des maschinellen Lernens für die Weiterentwicklung der Robotik betont wird, stößt die Verwendung des Begriffs „Künstliche Intelligenz“ für diesen Technikbereich teilweise auf Ablehnung. Für die nächsten 5-10 Jahre werden Fortschritte bei teilautonomen Systemen als wesentlicher Schritt in Richtung autonome Robotik erwartet. Als wichtigste Anwendungsgebiete werden die Logistik und die Industrie genannt, bei den vielen weiteren Einsatzmöglichkeiten werden besondere Marktpotenziale für das Bauwesen und die Landwirtschaft gesehen. Große Zuwächse werden auch für den Konsumbereich prognostiziert: Neben Robotern, welche zumindest etwas mehr können, als nur staubzusaugen, werden insbesondere Fortschritte bei digitalen Assistenten erwartet.

*Mittelfristig
erwartete Trends*

Wenngleich große Fortschritte in einzelnen Technikbereichen gemacht werden, sind noch viele Herausforderungen zu bewältigen. Am häufigsten wurden die folgenden Problembereiche erwähnt: visuelle und taktile Wahrnehmung, Spracherkennung, Geschicklichkeit sowie User-Interfaces. Dabei geht es nicht nur darum, die Herausforderungen technisch zu bewältigen, sondern auch Lösungen zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten zu finden. Als weitere Herausforderung wurde die Schaffung eines rechtlichen Rahmens genannt. Einerseits besteht hier ein unübersehbares Bedürfnis nach klaren Regelungen, teilweise wird aber auch befürchtet, dass die technische Entwicklung zu sehr eingeschränkt werden könnte. Im Hinblick auf Mensch-Maschine-Kollaborationen sind Sicherheitsfragen ein zentrales Thema.

*Technische und
ökonomische
Herausforderung*

Eine Mehrheit der österreichischen ExpertInnen sieht in der gesellschaftlichen Akzeptanz die größte Herausforderung. Befürchtungen, dass Arbeitsplätze verloren gehen, aber auch ethische Bedenken und andere Vorbehalte gegenüber Robotern müssen ernst genommen werden. Neben entsprechenden Anpassungen bei der Entwicklung ist hier auch Aufklärungs- und Informationsarbeit zu leisten. Dazu gehört auch das Anregen und Führen von öffentlichen Debatten, wobei auch davon gesprochen wurde, Akzeptanzfragen in Diskussionen über ein Gesellschaftsmodell der Zukunft zu integrieren. Während grundsätzlich die Beantwortung ethischer Fragen als eine zentrale Aufgabe angesehen wurde, wurde vereinzelt auch die Diskussion darüber als verfrüht angesehen, insbesondere im Hinblick auf aktuelle Fähigkeiten „Künstlicher Intelligenz“. Als weitere Herausforderung wurde die Bewältigung der Komplexität der entstehenden soziotechnischen Systeme genannt. In diesem Zusammenhang wurde die Entwicklung und Anwendung von Methoden angeregt, welche die Vielzahl von relevanten Faktoren frühzeitig berücksichtigen kann. In diesem Zusammenhang wurde auch die Notwendigkeit von Technikfolgenabschätzung genannt.

*Gesellschaftlichen
Akzeptanz, ethische
Fragen und Bewältigung
der Komplexität*

**Stärken und
Schwächen**

Während für einzelne Bereiche hervorragende Leistungen der österreichischen Forschung und Industrie erwähnt wurden, wird für die Robotik insgesamt ein Fehlen von großen österreichischen Industrieunternehmen und von langfristigen Strategien oder Leuchtturmprojekten konstatiert. Während insgesamt die Situation im Bereich Aus- und Weiterbildung als vielfältig und sich gut ergänzend eingeschätzt wird, wird auch das Fehlen von spezialisierten Studiengängen und ein ungedeckter Bedarf an hochqualifizierten Fachkräften im Bereich Robotik erwähnt. Widersprüchlich sind auch die Ergebnisse bezüglich der Vernetzung von österreichischen Akteuren im Bereich Robotik. Einerseits werden einzelne Initiativen als vorbildlich genannt und auch die gute Vernetzung, auch mit deutschen Unternehmen, positiv erwähnt, andererseits wird auch ein großer Nachholbedarf bei der Vernetzung und Bündelung von Forschung, Industrie und bestehenden Innovationsaktivitäten gesehen. Vereinzelt wurde auch auf einen fehlenden gesellschaftlichen Diskurs hingewiesen, insbesondere zum Thema Künstliche Intelligenz, und ein Nachholbedarf bei Technikfolgenabschätzungen im Bereich Mensch-Maschine Interaktion erwähnt.

1 Robotik international: Kurz- und mittelfristige Entwicklungsperspektiven

1.1 Einleitung

Roboter sind in vielen Bereichen auf dem Vormarsch. In der Industrie beginnen sie die Käfige in Fertigungsstraßen der Automobilproduktion zu verlassen, um menschliche Arbeit in direkter Kooperation zu unterstützen oder sie auch gänzlich zu ersetzen. Im Dienstleistungsbereich zeichnen sich ähnliche Entwicklungen ab; Tätigkeiten, die gemeinhin als ureigene Domäne menschlicher Autonomie und sozialer Kompetenz galten, können automatisiert und von Robotern übernommen werden. Selbstfahrende Autos oder Pflegeroboter sind nur zwei, wenngleich prominente und vieldiskutierte Beispiele für diese neuen Möglichkeiten.

Roboter dringen in menschliche Domänen ein

Die zweiteilige Kurzstudie „Robotik in Österreich“ zeigt den Stand der Entwicklungen sowie kurz- und mittelfristige Entwicklungsperspektiven, und stellt ein „Netzwerk Robotik“ für Österreich dar. Im ersten Teil werden kurz- und mittelfristige Entwicklungsperspektiven sowie wesentliche, daraus resultierende gesellschaftliche und politische Herausforderungen auf internationaler Ebene skizziert. Hierzu sollen begriffliche Abgrenzungen getroffen und unterschiedliche Typen (nach Einsatzgebieten und sonstigen Charakteristika) systematisch dargestellt werden. Dabei wird das Thema Robotik gezielt nicht zu weit gefasst und es werden keine über die Robotik hinausgehende, allgemeine Aspekte der Digitalisierung und Automatisierung in die Analyse einbezogen. So wird beispielsweise das Forschungsgebiet der künstlichen Intelligenz (KI) nicht vertiefend behandelt, wenngleich KI-Technologien natürlich einen zentralen Beitrag zur Weiterentwicklung der Robotik leisten. Gerade wegen der wesentlichen Rolle der KI für die Erweiterung der Anwendungsbereiche von Robotern und die damit verbundenen ethischen und rechtlichen Fragen würde eine vertiefende Behandlung dieser Thematik den Rahmen dieser Studie bei weitem sprengen. Der erste Teil basiert auf Literatur- und Internetrecherchen.

Thema Robotik

Im Laufe des zweiten, empirischen Teils der Kurzstudie wurde erhoben, wer in Österreich zu einem „Robotik-Netzwerk“ zählen würde. Dieses Mapping wurde auf Basis von Internetrecherchen und Telefoninterviews nach dem Schneeballprinzip erstellt. Ein ursprüngliches Ziel war es dabei, eine Übersicht zu zentralen Akteuren zu erstellen, die in eine mögliche Taskforce oder Beratungskommission für den Bundesminister zum Thema einbezogen werden könnten. Nachdem erste Recherchen gezeigt haben, dass entsprechende Verknüpfungen in Österreich bereits existieren bzw. Daten dazu bereits im Rahmen anderer Studien erhoben wurden, wurden bei den Interviews verstärkt inhaltliche Fragestellungen zur österreichischen Position im Bereich der Robotik thematisiert.

Robotik in Österreich

1.2 Grundlagen

Was sind „Roboter“?

Innerhalb des Felds der Robotik besteht keine Einigkeit über eine allgemeingültige Definition des Begriffs des Roboters. Allerdings lassen sich die verschiedenen Definitionen auf eine gemeinsame, wenngleich wenig präzise Grundlage reduzieren.

„Current research believes that a robot, in the broad sense, should fulfil several conditions, and consist of a physical machine which is aware of and able to act upon its surroundings and which can make decisions.“
(Nevejans 2016, S. 8)

Mehrdeutige Definitionen

Konsens herrscht über den Ursprung des Begriffs, der sich auf das slawische Wort „robota“, das so viel wie Mühsal, Plage bedeutet. In den modernen Sprachgebrauch kam das Wort Roboter über Karl Capeks Theaterstück „R.U.R. – Rossums Universal Robot“ (1920) (Oubbati 2007). Ein Roboter zeichnet sich den meisten Definitionen zufolge dadurch aus, dass er aus Sensoren, Aktoren¹ und einer Steuereinheit besteht. Somit ist er in der Lage, seine Umwelt mittels der Sensoren (aspekthaf) wahrzunehmen und diese Wahrnehmung in der Steuereinheit auszuwerten. Auf Basis dieser Auswertung wird dann eine sinnvolle Aktion ausgewählt und von der Steuereinheit an die Aktoren mitgeteilt, die somit die Umwelt des Roboters beeinflussen (Oubbati 2007, S. 10). Anzumerken wäre, dass diese Definitionen sich eher auf zukünftige Entwicklungen beziehen, welche auch unter den Begriffen autonome oder smarte Robotik firmieren; gegenwärtig eingesetzte Industrieroboter vollführen zum Beispiel vielfach nur vorprogrammierte Bewegungsabläufe und verfügen nicht über Möglichkeiten, selbstständig „Entscheidungen“ zu treffen. Ebenfalls anzumerken wäre, dass simple Kombinationen von Sensoren, Aktoren und Steuereinheiten, wie zum Beispiel automatische Türöffner, üblicherweise nicht zu den Robotern gezählt werden. Von Robotern wird normalerweise erst gesprochen, wenn sie komplexere Arbeiten oder Tätigkeiten übernehmen können oder selbst mobil sind.

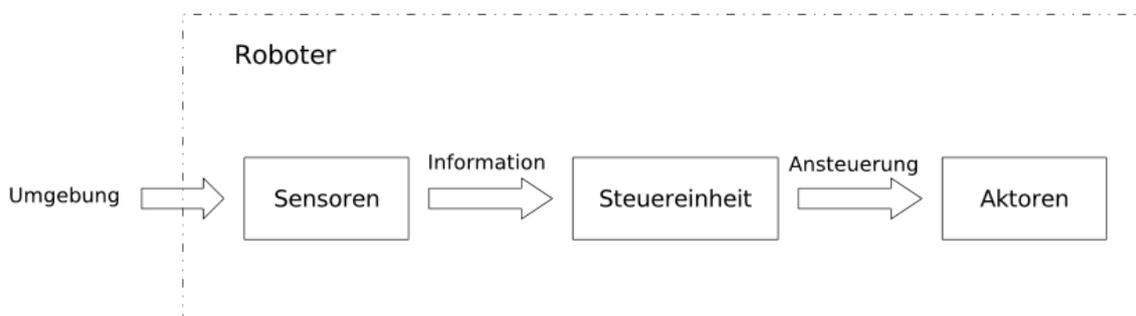


Abbildung 1: Roboter-Blockschema (Quelle: Oubbati 2007, S. 10).

¹ Bauelemente, welche elektrische Signale in mechanische Bewegung oder in andere physikalische Größen umsetzen.

Dieser Definition zufolge zählen Bots, also selbstständig agierende Computerprogramme, nicht zur Gruppe der Roboter, da sie nicht über Aktoren verfügen. Demgemäß wird in diesem Bericht nicht auf Bots eingegangen.

Bots nicht inkludiert

Üblicherweise werden Roboter als Industrieroboter oder Serviceroboter klassifiziert². Industrieroboter bezeichnen Roboter, die im Fertigungsprozess eingesetzt werden. Unter Servicerobotern werden alle Roboter zusammengefasst, die Dienstleistungen für den Menschen erbringen.

Industrie- und Serviceroboter

1.2.1 Künstliche Intelligenz

In der Einleitung wurde schon der Begriff der künstlichen Intelligenz bereits angesprochen. KI-Definitionen beziehen sich oft auf menschliches Verhalten oder menschliche Intelligenz. Die ISO lieferte 2015 die folgende Definition für „artificial intelligence“:

KI – Vergleich mit menschlicher Intelligenz

„capability of a functional unit to perform functions that are generally associated with human intelligence such as reasoning and learning.“³

Problematisch ist dabei, dass keine Klarheit über den Begriff von „Intelligenz“ besteht, demnach sind keine genauen Abgrenzungen möglich. Im Wesentlichen geht es bei der Verwendung des Begriffs „Intelligenz“ im Rahmen dieses Berichts um die Fähigkeit eines Computers bzw. Roboters, eigenständig Probleme zu bearbeiten und somit autonom Tätigkeiten zu verrichten.

1.2.2 Autonome Robotik

Von autonomen Autos zu autonomen Drohnen, Melkrobotern, Pflegerobotern und Staubsaugrobotern, das Stichwort „autonom“ begleitet in den letzten Jahren breite Bereiche der Robotik und betrifft viele Anwendungsgebiete. Neben einem einheitlichen Begriff des Roboters fehlt jedoch auch eine einheitliche Definition des autonomen Roboters und Arbeitsdefinitionen unterscheiden sich. Generell werden unter autonomen Robotern Maschinen verstanden, welche selbstständig Aufgaben ausführen können.

Selbstständige Ausführung von Aufgaben

Oftmals wird auch zwischen den unterschiedlichen Graden von Unabhängigkeit unterschieden, wie beispielsweise zwischen programmierbaren, adaptiven und intelligenten Robotern. Programmierbare Roboter führen Aufgaben nach vorgegebenen Mustern und festgelegten Sequenzen aus. Adaptive Roboter sind mit Sensoren und Kontrollsystemen ausgestattet, welches es ihnen ermöglichen, sich den Gegebenheiten anzupassen. Intelligente Roboter können Situationen analysieren und Aufgaben entsprechend flexibel ausführen (Agarwal 2015).

² Siehe Definitionen nach ISO 8373:2012 Robots and robotic devices. Online unter: iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en (zuletzt abgerufen am 11.05.17).

³ Siehe Definition nach ISO 2382:2015 Information technology – Vocabulary. Online unter: iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v1:en:term:2123770 (zuletzt abgerufen am 11.05.17).

1.2.3 Evolution der Robotik

Robotergenerationen Anfang der 80er-Jahre haben Tachi und Komoriya (1982) über die Entwicklung der Robotik reflektiert und drei Robotergenerationen beschrieben. Zu diesem Zeitpunkt waren Roboter der ersten und zweiten Generation schon technologisch realisiert, Roboter der dritten Generation wurden hingegen hauptsächlich auf theoretischer Ebene thematisiert. Die Charakterisierung der ersten und zweiten Robotergeneration von Tachi und Komoriya entsprechen auch modernen Vorstellungen.

Die erste Generation entstand in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts aus der Kombination von Hardware-Konfiguration und Steuerungstechnik. Zu den ersten kommerziell erhältlichen Robotern zählen Versatran und Unimate, zwei Industrieroboter, welche um 1962 auf den Markt kamen.

Die zweite Generation von Robotern wurde als „adaptive Roboter“ bezeichnet, bedingt dadurch, dass diese ihre Tätigkeiten durch den Einsatz von Sensoren anpassen können. Diese Generation von Robotern wurde nach und nach ab den 70er-Jahren in der Industrie eingeführt.

Heute befinden wir uns in einer Welt, in der Roboter der dritten Roboter- generation und ihre Konsequenzen stark in den Medien thematisiert werden. Auch in diesem Bericht werden wir uns hauptsächlich den Robotern der dritten Generation widmen. Dabei liegt der Fokus auf autonomen Robotern und künstlicher Intelligenz, welche diesen ein unbeaufsichtigtes Arbeiten ermöglichen. Auch viele soziale Roboter sind dieser Generation zuzuordnen.

Hauptfaktoren des Fortschritts Was hat sich seit den 1970er-Jahren verändert, um diese Fortschritte zu erlauben? Andreas Kugi (Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik der Technischen Universität Wien) präsentierte am 26.04.2017 im Zuge seines Vortrags „Automatisierung und Robotik: Das neue Zeitalter der Maschinen?“ im Rahmen der Viktor-Kaplan-Lectures seine Einschätzung dazu. Die vier Hauptveränderungen sieht er in (1) der gesteigerten Rechenleistung, (2) der verbesserten Sensorik, insbesondere der Mikrosystemtechnik, (3) der Verbesserung der Algorithmik (maschinelles Lernen, insbesondere Berechnungen in Echtzeit), und (4) der Ausbreitung der Kommunikationstechnologie (Internet of Things, Vernetzung der Geräte). Roboter sind heutzutage flexibel und anpassungsfähig. Wichtige Technologien für weitere Entwicklungen liegen in der Bildverarbeitung und Sensorik, sowie im maschinellen Lernen und der KI.

Roboter in der Entwicklungs- oder Experimentierphase Roboter der vierten Generation befinden sich derzeit noch in der Entwicklungs- oder Experimentierphase. Dieser Begriff wird verwendet, um Roboter zu beschreiben, welche die Fähigkeit besitzen, sich weiterzuentwickeln, oder welche biologische und mechanische Komponenten vereinen. Eine Vereinigung biologischer und mechanischer Komponenten ist beispielsweise bei dem nur 16 Millimeter langen Roboter-Rochen festzustellen, welcher 2016 von der Harvard University in Cambridge vorgestellt wurde. Ausgestattet ist der Roboter mit einem in elastischen Kunststoff eingebetteten Goldskelett. An der Oberseite des Roboters wurde eine Schicht

bestehend aus 200.000 Herzmuskelzellen von Ratten angebracht, welche Kontraktionen der Rochenflossen und somit die Fortbewegung erlauben. Leiten lässt sich der Roboter durch Lichtimpulse (Lindinger 2017).

Zurzeit beschäftigt sich die Forschung und Entwicklung überwiegend mit Robotern der dritten Generation. In diesem Zusammenhang sind Stichworte wie „autonom“ oder „smart“ in den letzten Jahren in der Robotik fast allgegenwärtig geworden und betreffen viele Anwendungsbereiche. Generell werden unter autonomen Robotern Maschinen verstanden, welche Aufgaben weitgehend selbstständig ausführen können. Während programmierbare Roboter Aufgaben nach vorgegebenen Mustern und festgelegten Sequenzen ausführen, sind autonome Roboter mit Sensoren und Kontrollsystemen ausgestattet, welche es ihnen ermöglichen, sich den jeweiligen Gegebenheiten in einem gewissen Umfang anzupassen.

Neue Robotergenerationen besitzen die Möglichkeit, große Mengen an Daten zu bearbeiten und diese in Echtzeit mit weiteren Robotern auszutauschen, wobei sich im Rahmen gegenwärtiger Entwicklungen diese Kommunikationsfähigkeiten auf den gesamten Produktionsprozess (Industrie 4.0) oder die Interaktion mit „smarten“ Objekten der Umwelt (Internet of Things) erweitern werden. Durch den Zugang zu sozialen Medien, Data-Mining und künstlicher Intelligenz wie Deep Learning wird es Robotern ermöglicht werden, ihre Umwelt zu „verstehen“ (Gupta 2015).

Vernetzung

1.2.4 Begriffserläuterungen

Im Laufe der Recherchearbeit zu diesem Bericht wurde eine Reihe von Arten von Robotik vorgefunden, welche in unterschiedlichen Anwendungsbereichen immer wieder genannt wurden und daher auch als Indikatoren für gegenwärtig und für die mittelfristige Zukunft wichtige Forschungsgebiete dienen können. Dazu zählen insbesondere die soziale Robotik, kollaborative Robotik, soft & bio-inspired Robotik, Schwarmrobotik und Nanorobotik.

Soziale Robotik

Durch die Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz erhalten soziale und insbesondere humanoide Roboter in letzter Zeit besonders viel Aufmerksamkeit; das wirtschaftliche Wachstumspotenzial ist laut IT-Brancheverband Bitkom hoch (Finsterbusch 2017). Vorangetrieben von sinkenden Kosten und technischen Entwicklungen (van der Plas et al. 2010) sowie steigendem Bedarf nach Pflegekräften investiert etwa Japan stark in die Entwicklung von Robotern, welche im Pflegebereich eingesetzt werden, darunter auch soziale Roboter (Muoio 2015). Diese sind u. a. mit der Fähigkeit ausgestattet, mit AnwenderInnen in einer ihren sozialen Bedürfnissen entsprechenden Weise zu kommunizieren (Kachouie et al. 2014). Breazeal (2003, S. 169) unterscheidet zwischen vier Arten sozialer Roboter:

*Hoher Bedarf im
Pflegebereich*

- *Socially evocative*: Roboter, welche dazu entworfen sind, Anthropomorphismus (Zuschreibung menschlicher Eigenschaften, welche nicht an humanoide Formgebung gebunden sein muss) hervorzurufen. In diese Kategorie fallen viele Haustier-Roboter⁴.
- *Social interface*: Roboter, welche menschenähnliche Kommunikationsmodalitäten verwenden, um Interaktionen natürlicher zu gestalten. Hierzu gehört oft Gestik und Mimik. Modelle der sozialen Kognition sind oberflächlich.
- *Socially receptive*: Roboter, welche durch die Interaktion mit Menschen lernen. Interaktionen beeinflussen die interne Struktur des Roboters und sein Verhalten kann durch Menschen beeinflusst werden. Diese Roboter sind nicht proaktiv, sondern sozial passiv.
- *Sociable*: Roboter, welche Ziele und Motivationen besitzen und proaktiv mit Menschen sozial interagieren.

Eigenschaften sozialer Roboter

Fong et al. (2003) haben eine Reihe von Eigenschaften der sozialen Intelligenz definiert: Beobachtung und Ausdruck von Gefühlen, Dialogfähigkeit auf hohem Niveau, Aufrechterhalten von sozialen Beziehungen, Erlernen von Sozialkompetenzen, Kommunikation durch Mimik und Körpersprache, sowie Besitz bzw. Simulation einer Persönlichkeit. Zurzeit sind wir noch weit von Robotern entfernt, welche diese soziale Intelligenz besitzen, wobei die Interaktionsmöglichkeiten aber immer weiter verfeinert werden (Royackers/van Est 2015, S. 551). Eingesetzt werden Roboter, die einige dieser Eigenschaften zeigen, für eine große Anzahl von Anwendungen, beispielsweise als Spielzeuge, pädagogische Werkzeuge oder zur therapeutischen Unterstützung (Fong et al. 2003).

Zuschreibung menschlicher Eigenschaften

Menschen besitzen die Tendenz, Robotern menschliche Eigenschaften zuzuschreiben (Anthropomorphismus), wodurch Robotern psychologische, soziale und moralische Fähigkeiten zugeschrieben werden (Duffy 2003; Melson et al. 2009; Sharkey/Sharkey 2012). Es ist zu vermuten, dass diese Effekte sich mit der Verfeinerung von Robotern verstärken werden.

Heenriks et al. (2008) konnten zeigen, dass Roboter mit höheren sozialen Fähigkeiten bei TeilnehmerInnen im Alter zwischen 65 und 89 Jahren bei Interaktionen zu höheren empfundenem Vergnügen führen, was sich auf die Akzeptanz auswirken kann. Wie Silvera-Tawil et al. (2015) berichten, gibt es jedoch auch das Phänomen des sogenannten „Uncanny Valley“:

„It is often assumed – perhaps uncritically – that a person will be more psychologically comfortable with a human-like robot. Doubt is cast on this assumption, however, by Mori’s theory of the ‘uncanny valley’ – the paradoxical feeling of strangeness when one views a human-like entity that is ‘not quite perfect.’” (Silvera-Tawil et al. 2015, S. 230)

⁴ Haustieren werden oftmals Emotionen und Gefühlszustände zugeschrieben, wie beispielsweise Trauer.

Negative Gefühle werden durch Roboter ausgelöst, wenn diese nicht den Erwartungen entsprechend aussehen oder sich nicht erwartungsgemäß verhalten. Hat ein Roboter ein sehr menschenähnliches Aussehen, so werden menschliche Eigenschaften wie Intelligenz oder Emotionen vorausgesetzt (Silvera-Tawil et al. 2015).

Typischerweise haben soziale Roboter das Erscheinungsbild eines Tieres oder Fantasiewesens oder eines Menschen. Anwendung finden sie oft als therapeutische Roboter in der Pflege oder bei Autismus (siehe Kapitel 1.4.2 Gesundheitswesen), sowie auch im Bereich der Unterhaltung (siehe Kapitel 1.4.8 Konsumentenroboter). Auch in Zukunftsvisionen der Polizei spielen soziale Roboter eine Rolle (siehe Kapitel 1.4.5 Ziviler Bereich).

Anwendungsgebiete

Zu einer der neueren Entwicklungen zählt beispielsweise der Roboter „Matilda“ der La-Trobe-Universität von Melbourne, welcher in Personalabteilungen von Unternehmen für Vorstellungsgespräche eingesetzt werden soll. Aufgabe von „Matilda“ ist dabei mit Unterstützung großer Datenbanken und Internetanschluss, BewerberInnen nicht nur Fragen zu stellen, sondern deren Antworten und Mimik zu bewerten (Finsterebusch 2017).

*Bewertung
menschlicher
Emotionen*

Kollaborative Robotik

Im Industriebereich sind sogenannte „Cobots“ oder „kollaborative Roboter“ ein aktuelles Thema:

„[...] a current trend in manufacturing robotics is the development of collaborative robotics (cobotics), in which robots perform activities jointly, or at least side-by-side, with human operators.“ (Coupeté et al. 2014)

Ein wesentliches Kriterium der kooperativen Robotik ist es, dass die Käfige oder Zäune zwischen Mensch und Industrieroboter nun wegfallen. Ermöglicht wird dies durch Cobots, welche über ausreichende Sicherheitsmechanismen verfügen müssen, um auch bei unberechenbaren menschlichen Handlungen keine Verletzungen zu riskieren. Um diese Sicherheit gewährleisten zu können, wird eine Reihe von Sensoren mit Verarbeitung der Informationen in Echtzeit eingesetzt, um die Umgebung stets beobachten und rechtzeitig reagieren zu können (Kallweit et al. 2016).

Während die kollaborative Robotik aus Sicht der Forschung und Entwicklung und auch aus Sicht der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten ein faszinierendes Thema darstellt, bleibt diese Entwicklungsrichtung doch mit einigen, in der Literatur noch kaum diskutierten Fragezeichen behaftet. Eines dieser Fragezeichen betrifft die Effizienz und Wirtschaftlichkeit von kollaborativen Robotern. Um eine sichere Zusammenarbeit mit Menschen zu ermöglichen, müssen diese Roboter nicht nur mit zusätzlichen Sensoren oder weichen Materialien ausgestattet werden, so müssen zudem auch in ihrer Kraft und Geschwindigkeit an menschliche Maße angepasst werden. Angesichts höherer Kosten und eingeschränkter Leistungsfähigkeit bleibt offen, inwieweit diese Entwicklungsschiene im Vergleich zu traditioneller Robotik mit weitgehend getrennten Aufgabenbereichen konkurrenzfähig sein wird und somit weite Verbreitung in der Industrie finden kann.

Wirtschaftlichkeit?

Veränderung der Arbeitsorganisation

Weitere Fragezeichen betreffen die notwendigen Veränderungen in der Arbeitsorganisation und die Akzeptanz von Formen der direkten Kooperation durch menschliche MitarbeiterInnen. Mit wenigen Ausnahmen sind Fertigungsvorgänge in der Regel so gestaltet, dass jeweils nur eine Person an bestimmten Arbeitsstätten beteiligt sind. Eine dieser Ausnahmen ist etwa das Manipulieren oder Bewegen von schweren Gegenständen – und gerade diese Tätigkeiten können Roboter ohne menschliches Zutun übernehmen. Jedenfalls erfordert die gleichzeitige Beteiligung von mehr als zwei Armen einen zusätzlichen Koordinationsaufwand, unabhängig davon, ob es sich um menschliche Arme oder um solche von Robotern handelt. Wobei für Roboter selbst diese Beschränkung nicht gilt; hier sind durchaus Systeme möglich, bei denen eine größere Anzahl von Armen oder Aktoren simultan komplexe Vorgänge verrichten können. Mangels empirischer Erfahrungen bleibt auch notwendigerweise die Frage offen, wie sich die direkte Zusammenarbeit mit Robotern auf die Arbeitszufriedenheit und damit auch auf die Akzeptanz von sollen gemeinsamen Arbeitsplätzen auswirkt.

Arbeitszufriedenheit und Akzeptanz

Soft & Bio-inspired robotics

Soft robotics ist eine junge Disziplin der Robotik welche, oftmals an biologischen Vorbildern orientiert (bio-inspired), deformierbare bzw. weiche Materialien einsetzt. Im Einsatz bei sozialen Robotern sollen sich dadurch Kontaktbereiche für Menschen angenehm anfühlen, Verletzungsgefahren vermindert und das elektronische Innenleben des Roboters beispielsweise vor Wasser geschützt werden. Auch an taktilen Sensoren für Druck, Oberflächenstruktur und Temperatur wird geforscht, um artifizielle empfindliche „Haut“ herzustellen (Silvera-Tawil et al. 2015).

„Schwitzende“ Roboter

Zu den neuesten Entwicklungen in diesem Bereich gehört die Fähigkeit des Roboters Kengoro von der Universität von Tokio zu „schwitzen“, wobei Schwitzen in diesem Zusammenhang bedeutet, dass Kühlflüssigkeit verdunstet, um die Maschine vor Überhitzung zu schützen. Ein weiteres Beispiel ist der Roboter „Salto“ aus den USA, welcher muskelähnliche Energiespeicher besitzt, um ihm Sprungkraft zu verleihen und eine bei Affen beobachtete Klettertechnik ermöglicht. Dieser Roboter soll in der Zukunft bei Rettungsoperationen eingesetzt werden können (Finsterbusch 2017).

Schwarmrobotik

Zwei Konzepte

Die Kategorie der Schwarmroboter umfasst Roboterarten, die einzeln geringe Intelligenz aufweisen, im Schwarm jedoch komplexe Aufgaben lösen können. Dabei können zwei grundlegende Schwarmkonzepte zum Einsatz kommen:

Das erste Konzept sieht ein arbeitsteiliges System vor, das aus verschiedenartigen Robotern zusammengesetzt ist. Ein Beispiel ist Swarmanoid⁵,

⁵ Siehe auch die Swarmanoid Projektseite unter: swarmanoid.org/ (zuletzt abgerufen am 03.05.17).

das aus etwa 60 fliegenden Kamerarobotern, rollenden Fortbewegungs- und Transportrobotern und Greifrobotern besteht, die je nach Problemstellung in unterschiedlich großen Verbänden gemeinsam arbeiten und so auch komplexere Aufgaben durchführen können.

Im zweiten Konzept arbeiten viele gleichartige Roboter ähnlich einem Insektenschwarm an einer gemeinsamen Aufgabe. Auf Basis einfacher Regeln können beispielsweise die Konstruktionsroboter eines Forschungsteams der Harvard University komplexe Gebäudestrukturen errichten. Ein Vorteil dieser Schwarmform ist es, dass der Schwarm die Aufgabe selbst bei Ausfall einzelner Roboter beenden kann, da keiner der Roboter über besondere Fähigkeiten verfügt und somit eine kritische Stelle darstellt (Werfel et al. 2014).

Nanorobotik

Nanoroboter, auch Nanobots genannt, sind Roboter im Größenbereich von 0,1 bis 10 Mikrometer. Das Konzept geht auf Robert Freitas (2005) zurück und umfasst selbständig tätige Einheiten, die im Körper des Menschen verschiedene diagnostische (Cerofolini et al. 2010) oder therapeutische (Yarin 2010) Aufgaben lösen sollen. Dieser Bereich der Robotik befindet sich noch in der Entwicklungs- und Experimentierphase. Medizinische Nanobots werden in den meisten derzeit erforschten Varianten mittels eines Magnetfeldes bewegt und können so beispielsweise Medikamente gezielt an den Ort bringen, an dem sie wirken sollen, und auf diese Weise Nebenwirkungen reduzieren. Unter anderem wird deren Einsatz für die gezielte Behandlung von Krebs erforscht. An Tieren wurden Nanoroboter bereits getestet, es gibt jedoch noch keine klinischen Studien am Menschen. Problematisch sind vor allem die Verträglichkeit der verwendeten Materialien und die Entfernung der Roboter aus dem Körper (Fiedler 2015).

*Anwendung
in der Medizin*

1.3 Aktuelle Entwicklungen

1.3.1 Marktentwicklung

Die Nachfrage für Industrieroboter hat nach einem starken, konjunkturbedingten Einbruch infolge der globalen Finanzkrise seit dem Jahr 2010 stark zugenommen (siehe Abbildung 2). Eine durchschnittliche Zunahme von Verkäufen von Industrierobotern von 16 % pro Jahr war für die Jahre 2010-2015 festzustellen (IFR 2016a). Im Jahr 2016 wuchs der Markt für Industrieroboter mit 290.000 neu installierten Systemen um 14 %, insgesamt wird laut Angaben der International Federation of Robotics (IFR) der Markt für Roboter aller Arten auf knappe 50 Milliarden Euro geschätzt (Kurz 2017). Bis zum Jahr 2019 sollen weltweit ca. 2,6 Millionen Industrieroboter im Einsatz sein; dies entspricht einer Zunahme von etwa 1,4 Millionen Industrierobotern zwischen 2016 und 2019 (siehe Abbildung 2). Laut An-

Industrieroboter

gaben der IFR im September 2016 werden im EU-Vergleich in Deutschland die meisten Industrieroboter eingesetzt, gemessen an deren Anzahl pro 10.000 Beschäftigten. Von den Ländern mit überdurchschnittlich hoher Dichte an Industrierobotern gehören 65 % zur EU (Standard 2016). In Deutschland werden pro 10.000 Beschäftigte 301 Industrieroboter eingesetzt, in Österreich 128 (siehe Abbildung 3).

Worldwide annual supply of industrial robots 2001 - 2019*

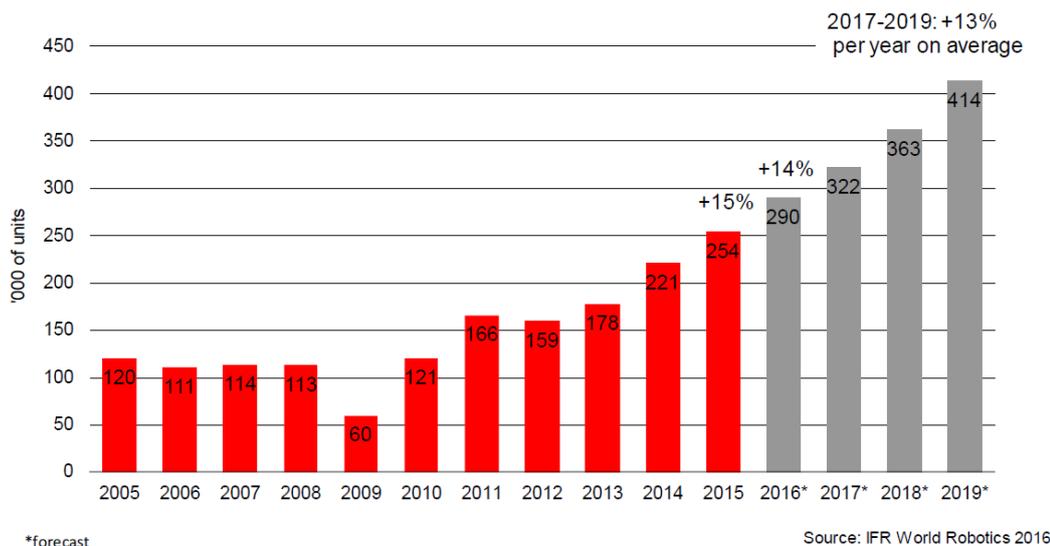


Abbildung 2: Entwicklung der Versorgung mit Industrierobotern (Quelle: IFR 2016c)

Figure 2.9 Number of multipurpose industrial robots (all types) per 10,000 employees in the manufacturing industry (ISIC rev.4: C) 2015

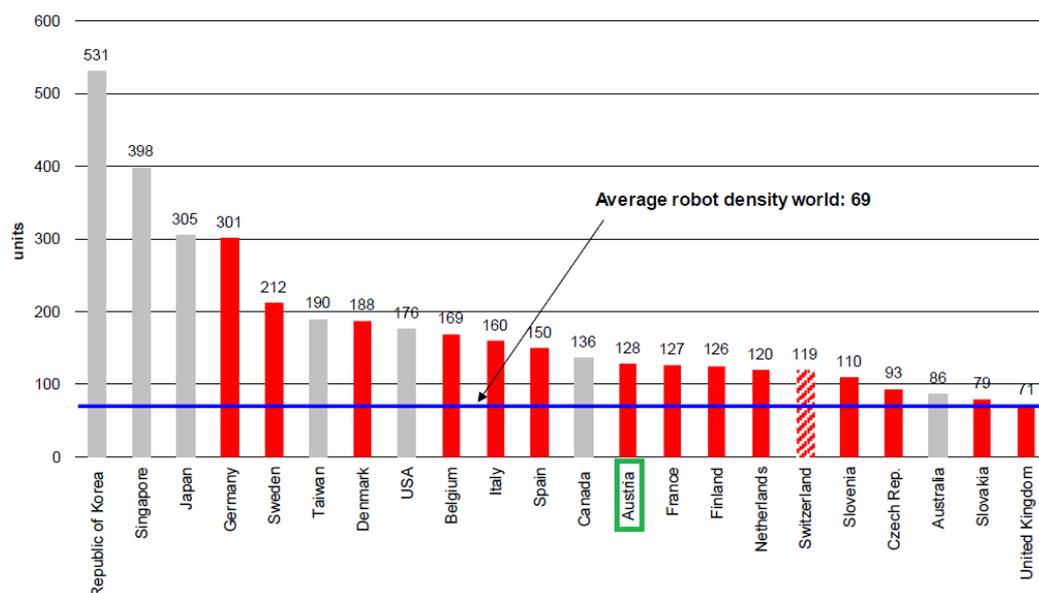


Abbildung 3: Industrieroboterichte in ausgewählten Ländern (Quelle: IFR 2016c)

Besonders in der Automobilindustrie besteht ein hoher – und stets steigender – Bedarf nach Industrierobotern. Auch die Elektronik/Elektroindustrie setzt mit jedem Jahr eine wachsende Anzahl von Industrierobotern ein. Für die kommenden Jahre werden auch Durchbrüche bei der Mensch-Roboter-Kollaboration am Arbeitsplatz erwartet. Wobei hier noch offen bleibt, welche Formen der Kollaboration sich aus sozialer und wirtschaftlicher Sicht als akzeptabel und wettbewerbsfähig erweisen werden. Während Formen des Programmierers durch „Vormachen“ eine wesentliche Vereinfachung, insbesondere beim flexiblen Einsatz von Robotern, mit sich bringen, bleibt noch offen, in welchen Bereichen eine permanente direkte Zusammenarbeit zwischen Robotern und Menschen zweckmäßig sein wird.

Mensch-Roboter-Kollaboration

Neben dem Bereich Industrierobotik findet zurzeit auch ein Aufschwung im Bereich der Serviceroboter statt. Es wurden laut Angaben der IFR im Jahr 2015 weltweit insgesamt 41.060 Serviceroboter für den professionellen Gebrauch verkauft, eine Steigerung von 25 % im Vergleich zum Vorjahr. Für den persönlichen Gebrauch wurden um die 5,4 Millionen Serviceroboter verkauft, diese Zahl entspricht einer Steigerung von 16 % zum Jahr 2014. Für die Jahre 2016-2019 wurde prognostiziert, dass im professionellen Gebrauch 333.200 neue Systeme eingesetzt werden, für den privaten Gebrauch werden 42 Millionen verkaufte Einheiten erwartet, mit einem Schwerpunkt auf Staubsaugerroboter (IFR 2016b). Aktuelle Trends im Bereich der Servicerobotik beinhalten die Entwicklung von Exoskeletten, diagnostischen Systemen, Rehabilitationssystemen und Roboterassistenten für die Chirurgie, sozialen Robotern und fortschrittlichen Haushaltsrobotern (IFR 2016d).

Serviceroboter

1.3.2 Forschungslandschaft

EU Ebene

Robotik und Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) bilden einen der Schwerpunkte des Horizon-2020-Programms. Die öffentlich-private Partnerschaft euRobotics AISBL arbeitet mit der Europäischen Kommission zusammen, um eine Strategie für Forschung, Technologieentwicklung und Innovation in Robotik zu entwickeln und eine Schnittstelle zwischen Kommission, Wissenschaft und Industrie herzustellen (Hofbauer et al. 2015)⁶. Factory of the Future ist ebenfalls eine öffentlich-private Partnerschaft, welche sich mit Robotik in der Fertigung auseinandersetzt (Hofbauer et al. 2015)⁷. Für den Zeitrahmen 2014-2020 wurde für Europa eine „Strategic Research Agenda“ (SRA) entwickelt.

⁶ Siehe auch die euRobotics Homepage unter: eu-robotics.net/eurobotics/about/about-eurobotics/index.html (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

⁷ Siehe auch: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

Horizon-2020-Arbeitsprogramme

- 2014** Im Rahmen des Robotik Arbeitsprogrammes für 2014 (ICT-23-2014) wurden 17 Projekte ko-finanziert, wobei der Schwerpunkt der Research & Innovation Actions auf den Fertigungsbereich, den kommerziellen und zivilen Bereichen und der Landwirtschaft lag (H2020 2015, S. 3).
- 2015** Im Rahmen des Robotik-Arbeitsprogrammes für das Jahr 2015 (ICT-24-2015 und FoF-2015) wurden insgesamt 21 Projekte ko-finanziert. Schwerpunkt der Research & Innovation Actions lag in dieser Ausschreibung auf Gesundheitswesen, Konsum und Transport (H2020 2016b, S. 3). Zudem wurden Projekte zu flexiblen und fast-autonomen Systemen gefördert (H2020 2016b, S. 23).
- 2016** Im Rahmen des Robotik-Arbeitsprogrammes des Jahres 2016 (ICT-25-2016, ICT-26-2016, ICT-35) wurden 17 Projekte ko-finanziert. Schwerpunkte der Research & Innovation Actions lagen im Bereich der generellen Fortschritte technischer Fähigkeiten sowie „Robotics and Autonomous Systems“ (RAS) Technologien wie Mensch-Roboter-Interaktion, Mechatronik, Wahrnehmung, Navigation und Kognition (H2020 2016a, S. 3). Der Stand der Technik von Systemfähigkeiten der Smart Robotics war auch Gegenstand der Ausschreibungen. Verwendete Schlagwörter waren Zuverlässigkeit, soziale Interaktionsfähigkeit, kognitive Fähigkeiten und Multiple-actor-systems (H2020 2016a, S. 13). Zusammenhänge zu ICT und die Bereiche der Cyber-physical-systems, Internet-of-Things, Big Data und Cybersecurity wurden behandelt (H2020 2016a, S. 24).
- 2017** Es gibt zurzeit im Rahmen von Horizon 2020 drei offene Calls welche unter die Kategorie „Robotics“ fallen:
- ICT-25-2016-2017: Advanced robot capabilities research and take-up
 - ICT-27-2017: System abilities, SME & benchmarking actions, safety certification
 - ICT-28-2017: Robotics Competition, coordination and support
- ICT-25-2016-2017 befasst sich mit „Advanced robot capabilities research and take-up“. Die Aufforderung lautet, Roboter zu entwickeln, welche flexibler, robuster und effizienter für die alltäglichen Bedürfnisse von ArbeitnehmerInnen und BürgerInnen sind. Hohe Priorität haben dabei Technologien der Systementwicklung, Mensch-Roboter-Interaktionen, Mechatronik, Wahrnehmung, Navigation und Kognition⁸.

⁸ Siehe dazu auch die genauere Beschreibung des Calls unter: ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/ict-25-2016-2017.html (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

Österreich

Laut Hofbaur et al. (2015) ist die österreichische Robotikforschungslandschaft als kleinteilig, aber stark aufgestellt einzuschätzen, mit einer großen Bandbreite an Forschungsinstitutionen und -themen. Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die österreichische Gesellschaft für Mess-, Automatisierungs- und Robotertechnik (GMAR).

Die GMAR-Arbeitsgruppe Robotik bezeichnet sich als österreichische Plattform für Mess-, Automatisierungs-, und Robotertechnik, gegründet von VertreterInnen aus der Forschung und Industrie. Ihrer Homepage⁹ kann man die folgenden Ziele des Fachbereichs Robotik entnehmen:

Industrie und Forschung:

- *„Vernetzung von Wissenschaft und Industrie*
- *Promotion der Robotik mittels Erhöhung der Sichtbarkeit von industriellen und wissenschaftlichen Leistungen*
- *Gewinnung neuer Anwender für Robotik-Lösungen*
- *Stärkung der nationalen und internationalen Wettbewerbsfähigkeit für Firmen in Österreich*
- *Unabhängige Beratungsstelle für Anwender/innen und Erstellung einer Robotiklandkarte*
- *Vermittlung von Ausbildungsmöglichkeiten und Fachkräften“*

Öffentliche Stakeholder:

- *„Sprachrohr der Robotik in österreichischen und europäischen Organisationen*
- *Aktive Mitarbeit an der österreichischen Forschungspolitik und Forschungsförderung*
- *Erarbeiten einer nationalen Robotik-Roadmap und einer strategischen Forschungsagenda*
- *Vertretung Österreichs in europäischen PPP (Public Private Partnership)-Initiativen*
- *Generierung von Rückflüssen aus europäischen Förderprogrammen im Bereich Robotik“*

Die GMAR führt österreichweit Veranstaltungen wie die Austrian Robotics Week und den Austrian Robotics Workshop durch, steht im Kontakt mit euRobotics und der EU-Kommission und liefert Beiträge zur Erstellung einer österreichischen Roadmap zu Robotik.

⁹ Siehe gmar.at/fachbereiche/robotik/ (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

Förderungen

Österreichische Forschungsinstitutionen richten sich mit Förderungsanträgen von Robotikprojekten an nationale Fördergeber wie den FWF oder die FFG, an Industriepartner oder an entsprechende Programme der Europäischen Kommission. Durchgeführt wird grundlagenorientierte und angewandte Forschung. Hofbaur et al. (2015) haben eine ausführliche und umfassende Beschreibung der österreichischen Forschungslandschaft ausgearbeitet.

Beispiele für Vereine zur Nachwuchsförderung sind der Verein Förderung der Automation und Robotik (F-AR)¹⁰ und der Verein Practical Robotics Institute Austria (PRIA)¹¹. F-AR bietet Zuschüsse für Studierende für Teilnahme an Konferenzen, Praktika im Ausland und Masterarbeiten im Ausland. Ebenso werden Preisgelder für die besten Masterarbeiten in den Bereichen Automatisierung in der Produktion, Simulation in der Produktion und Sicherheit in der Produktion angeboten¹². PRIA förderte im Jahr 2016 den wissenschaftlich-technischen Nachwuchs in den Bereichen Robotik und IKT. Zusammen mit der Vienna Institute of Technology (TGM) und der Slovak University of Technology in Bratislava (STU) organisierte PRIA auch die 7. Internationale Konferenz Robotics in Education (RiE)¹³.

1.4 Anwendungsbereiche

Die Darstellung der Anwendungsbereiche im Rahmen dieses Berichts orientiert sich an der Kategorisierung, welche in der Strategic Research Agenda (SRA) und der Multi-Annual Roadmap (MAR) im Rahmen der Horizon-2020-Calls ICT-2017 ICT-25, ICT-27 & ICT-28 geschildert werden (SPARC 2016). Die H2020 Robotics Multi-Annual Roadmap (MAR) differenziert die eingangs angesprochene Klassifizierung der Roboter als Industrie- oder Serviceroboter weiter und identifiziert sieben Anwendungsbereiche, in denen starke Auswirkungen durch den Einsatz von Robotern zu erwarten sind. Die sieben Bereiche sind: der Fertigungsbereich, das Gesundheitswesen, die Landwirtschaft, der zivile Bereich, der kommerzielle Bereich, Logistik und Transport sowie Konsumentenroboter (SPARC 2016) (siehe Abbildung 4).

Als weitere Domäne, welche im Horizon 2020 Call gezielt nicht behandelt wird, wurde der Militärbereich hinzugefügt. Einen Überblick der von uns gewählten Domänen und Subdomänen liefert Tabelle 1.

¹⁰ Siehe f-ar.at/ (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

¹¹ Siehe <https://pria.at/> (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

¹² Siehe f-ar.at/journal/forderungen/ (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

¹³ Siehe <http://rie2016.info/> (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

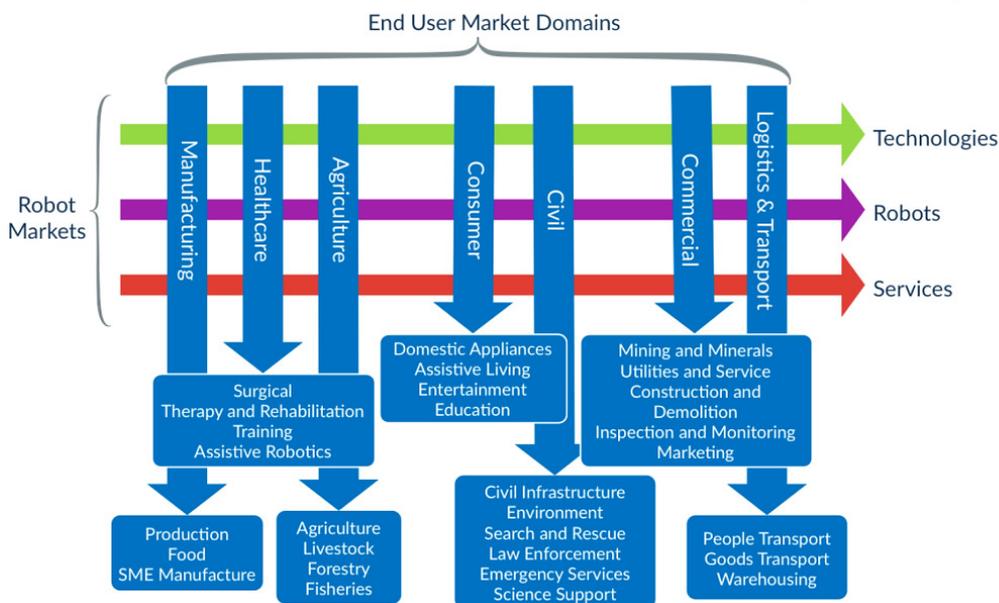


Abbildung 4: Domänen der Robotik (IFR 2016c) (Quelle: SPARC 2016, S. 5)

Tabelle 1: Anwendungs- und Sub-Domänen der Robotik (aufbauend auf SPARC 2016)

Domäne	Sub-Domäne
Fertigungsbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Industrie
Gesundheitswesen	<ul style="list-style-type: none"> • Pflege • Prothesen • Chirurgie • Therapie & Rehabilitation
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Land- & Forstwirtschaft • Viehhaltung
Militärbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Aufklärung • Entschärfung • Kampfeinsätze
Ziviler Bereich	<ul style="list-style-type: none"> • Polizei • Such-, Not- & Rettungsdienste • Umweltschutz • Wissenschaftliche Unterstützung
Kommerzieller Bereich	<ul style="list-style-type: none"> • Bergbau & Mineralien • Versorgung & Service • Bau & Demolierung
Logistik & Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Menschen- & Gütertransport • Lagerhaltung
Konsumentenroboter	<ul style="list-style-type: none"> • Haushaltsgeräte • Unterhaltung • Bildung

In den folgenden Abschnitten werden der aktuelle Stand und erwartete Entwicklungen in den einzelnen Domänen skizziert. Die ausgewählten Beispiele sollen einen schnellen Einblick in die angesprochenen Anwendungsbereiche ermöglichen; aufgrund der dynamischen Entwicklung, sowohl hinsichtlich der Technologien als auch der denkbaren Aufgaben, für die Roboter eingesetzt werden können, ist eine Vollständigkeit weder beabsichtigt noch möglich. In diesem Sinne ist auch nicht beabsichtigt, unterschiedliche Bereiche in einer, ihrer jeweiligen internationalen oder nationalen Bedeutung entsprechenden Tiefe und Detailliertheit darzustellen. Dies trifft insbesondere auf den Bereich Fertigung bzw. Industrierobotik zu. Hier sei auf andere Beiträge und Studien verwiesen, welche auf Basis von Erhebungen zum österreichischen Forschungs- und Industripotential einen guten Überblick zur Breite von möglichen Anwendungen bieten, insbesondere die Potentialstudie der GMAR (Pichler et al. 2017) und der Bericht über Beiträge Österreichs zur Europäischen Robotics Research Roadmap (Hofbauer et al. 2015). Es wurden aber bewusst auch nichtwissenschaftliche Medien als Quellen oder Informationen aus Unternehmenswebseiten einbezogen, um die Breite der Diskussion und der in die Robotik gesetzten Erwartungen widerzuspiegeln.

1.4.1 Fertigungsbereich

Unter Industrierobotern werden all diejenigen Roboter zusammengefasst, die im Fertigungsprozess eingesetzt werden und dort Werkstücke manipulieren. Meist handelt es sich um Roboterarme, die durch eine hohe Anzahl an Gelenken viele Freiheitsgrade aufweisen und somit flexibel für verschiedene Aufgaben eingesetzt werden können (Weber 2017, S. 16 f.). Hierfür besonders wichtig ist die einfache Neuprogrammierung des Roboters. Diese kann durch klassische Programmierung an einem PC oder durch „Programmieren durch Vormachen“ (Weber 2017, S. 27), also durch direktes, gezieltes Bewegen des Roboters, geschehen. Deutschland, Schweden, Dänemark und Italien zählen zu den Marktführern im Bereich der Industrieroboter; so gibt es in Deutschland 301, in Schweden 212, in Dänemark 188 und in Italien 180 Industrieroboter pro 10.000 ArbeitnehmerInnen (IFR 2016c). Große Zunahmen können in Zentral- und Osteuropa, insbesondere Polen (Zunahme um 40 % in 2015) und Tschechien (Zunahme um 26 % in 2015), festgestellt werden. Die EU und insbesondere Deutschland sind bezüglich Industrieroboter gut positioniert. Indirekt wird die Anwendung von Robotern von der gegenwärtigen Geldpolitik der Europäischen Zentralbank stark gefördert: Niedrige Zinsen sollen Roboter zu kostengünstigen Alternativen zu Arbeitskräften machen (Marin 2017). Weltweit sollen laut Angaben der IFR bis zum Jahr 2019 2,6 Millionen Roboter im Industriebereich eingesetzt werden (IFR 2016a).

Asien China hat sich zum Ziel gesetzt, Weltmarktführer für Roboter zu werden. Mithilfe ihres Fünfjahresplanes soll die Roboter-Revolution im Land vorangetrieben werden, wobei der Schwerpunkt auf Roboter für die Autoindustrie gesetzt wird. Im Jahr 2016 hat der taiwanesischer Elektronikkonzern

Foxconn in einer seiner Fabriken die Zahl der MitarbeiterInnen durch den Einsatz von Robotern mehr als halbiert; insgesamt 60.000 menschliche Stellen wurden ersetzt. Laut einem Manager von Foxconn soll es in Zukunft kaum menschliche Arbeitskräfte im Unternehmen geben, es gilt in einer ersten Phase zuerst gefährliche oder unbeliebte Aufgaben durch Roboter ausführen zu lassen, anschließend einzelne Produktionslinien zu automatisieren, und letztendlich ganze Fabriken (Frankfurter Allgemeine 2017).

Der Fokus der Entwicklungen der letzten zehn Jahre liegt auf kollaborierenden Robotern, die nicht von einem Schutzzaun umgeben werden müssen, sondern die direkt mit Menschen zusammenarbeiten können. Laut Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2017¹⁴ gehören smarte Roboter derzeit zur Gruppe mit den am meisten überzogenen Erwartungen. Dadurch werden andere Schutzmaßnahmen wie beispielsweise Kollisionserkennung oder Leistungsbegrenzungen notwendig. So hat der LBR iiwa von KUKA beispielsweise Drehmoment-Sensoren in den Gelenken, die ungeplante Berührungen und Kontakte erkennen. Andere Schutzmaßnahmen sind Polsterung des Roboterarms (z. B. bei Yumi von ABB) oder eine Sensorhaut (z. B. bei APAS assistant von Bosch) (Stegmüller 2016).

*Hype kollaborierende
Roboter*

1.4.2 Gesundheitswesen

Pflege

Bei Überlegungen bezüglich des Einsatzes von Robotertechnik in der Pflege muss zuerst definiert werden, was wir überhaupt unter Pflege verstehen. Eine oft verwendete Definition vom International Council of Nurses (ICN) lautet wie folgt:

*Was verstehen wir
unter Pflege?*

„Pflege umfasst die eigenverantwortliche Versorgung und Betreuung, allein oder in Kooperation mit anderen Berufsangehörigen, von Menschen aller Altersgruppen, von Familien oder Lebensgemeinschaften, sowie von Gruppen und sozialen Gemeinschaften, ob krank oder gesund, in allen Lebenssituationen (Settings). Pflege schließt die Förderung der Gesundheit, Verhütung von Krankheiten und die Versorgung und Betreuung kranker, behinderter und sterbender Menschen ein. Weitere Schlüsselaufgaben der Pflege sind Wahrnehmung der Interessen und Bedürfnisse (Advocacy), Förderung einer sicheren Umgebung, Forschung, Mitwirkung in der Gestaltung der Gesundheitspolitik sowie im Management des Gesundheitswesens und in der Bildung.“ (Offizielle, von Berufsverbänden Deutschlands und der Schweiz konzertierte Übersetzung)¹⁵.

Unter dem Stichwort der Pflege wird oftmals das Wohlergehen von Menschen und Menschlichkeit in den Vordergrund gestellt, mit Nachdruck auf

¹⁴ Siehe gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/

¹⁵ Original zu finden auf der ICN-Website: icn.ch/who-we-are/icn-definition-of-nursing/ (zuletzt abgerufen am 07.03.2017).

	<p>psychologisches Einfühlungsvermögen, kommunikatives Verständnis und menschliches Miteinander¹⁶. Im Grunde geht es bei der Pflege immer auch um Kontakt und den Aufbau von Beziehungen. Es muss oft ein Kompromiss zwischen dem, was Pflege leisten kann und den Bedürfnissen der zu Betreuenden gefunden werden.</p>
<i>Demografischer Wandel</i>	<p>Pflegeroboter gelten als eine Möglichkeit, um mit dem zu erwarteten Fachkräftemangel im Pflegebereich umzugehen. Laut Wirtschaftskammer Österreich steigt die Lebenserwartung durchschnittlich um zwei Prozent pro Jahr, wobei sie derzeit bei 83,1 Jahren bei Frauen und 77,7 Jahren bei Männern liegt (WKÖ 2017). Dementsprechend wird auch der Anteil der Bevölkerung im fortgeschrittenen Alter steigen. Dieser Trend der Bevölkerungsalterung ist in ganz Europa zu beobachten, zum Teil bedingt durch die steigende Lebenserwartung und der konstant niedrigen Fertilität über die Jahre hinweg. Für das Jahr 2080 wird erwartet, dass für die EU-28-Population der Anteil der Über-65-Jährigen 28,7 % betragen wird, verglichen mit einem Wert von 18,9 % im Jahre 2015 (Eurostat 2016).</p>
<i>Forschung & Entwicklung</i>	<p>In einer systematischen Literaturstudie von Bedaf et al. (2015) wurden insgesamt 107 Roboter oder Roboterprojekte identifiziert, welche spezifisch der Unterstützung älterer Menschen dienen. Davon befanden sich sechs noch in der konzeptionellen Phase, 95 in der Entwicklungsphase und sechs waren kommerziell schon erhältlich. Die identifizierten Roboter waren hauptsächlich den Tätigkeitsbereichen der Mobilität, Selbstversorgung sowie zwischenmenschlichen Interaktionen und Beziehungen gewidmet. Laut Sharkey und Sharkey (2012) gibt es hauptsächlich drei Aufgaben, bei denen Pflegeroboter behilflich sein könnten: bei der Unterstützung von PflegeempfängerInnen und ihren BetreuerInnen im Alltag, bei der Überwachung von Verhalten und Gesundheit von PflegeempfängerInnen sowie bei der Bereitstellung von Gesellschaft. Jeder dieser Punkte birgt das Potenzial, durch den Einsatz von Robotern auch negative Auswirkungen auf die Qualität des Lebens älterer Menschen auszulösen. Wichtig ist beim Einsatz von Pflegerobotern, dass die Interessen der PflegeempfängerInnen und nicht nur die der PflegerInnen beachtet werden (Sharkey/Sharkey 2012).</p>
<i>Pflegeroboter & Smart Homes</i>	<p>Weiters besteht auch ein starker Zusammenhang zwischen Pflegerobotern und der Entwicklung von Smart Homes. Durch Smarte Technologien können Individuen durch Informations- und Kommunikationstechnologien überwacht und betreut werden (Chan et al. 2009; Royakkers/van Est 2015).</p>
<i>Konkrete Beispiele</i>	<p>Längerfristig wird erwartet, dass Pflegeroboter im Pflegebereich eine größere Rolle spielen werden. Beispiele für mögliche Anwendungen sind RIBA II, ein Roboter aus Japan, welcher PatientInnen heben kann, oder der Roboter Kompaï der französischen Firma Robosoft. Kompaï soll dazu dienen, das Leben in den eigenen vier Wänden zu unterstützen und somit ein längeres, selbstständiges Verbleiben im eigenen Zuhause zu ermöglichen. Er ist zurzeit schon im Einsatz, ist mit einem Touchscreen ausgestattet.</p>

¹⁶ Siehe beispielsweise die Definition der Pflege auf der Website von AXA: pflegewelt.axa.de/Pflegewissen/Definition-Pflege (zuletzt abgerufen am 07.03.2017).

tet, erlaubt Videokonferenzen (beispielsweise mit ÄrztInnen), kann menschliche Sprache und einfache Befehle erkennen, selbst sprechen, Musik spielen oder Einkaufslisten erstellen. Geplant ist zukünftig die Fähigkeit, menschliche Emotionen auszudrücken (Royakkers/van Est 2015, S. 553). Kompaï entstand im Laufe des MOBISERV-Projektes des im 7. Rahmenprogramms für Forschung und technologischer Entwicklung (European Commission 2011). Weitere Beispiele von Robotern, welche entwickelt wurden, um in Alltag behilflich zu wirken, sind „My Spoon“, ein Roboter aus Japan, welcher bei der Nahrungsaufnahme assistiert; Sanyo, ein Badewannen-Roboter, welcher beim Baden unterstützt; EI-E aus den USA, der viele Aufgaben eines Assistenzhundes übernimmt; der japanische Roboter Ri-Man, welcher Gerüche wie beispielsweise Urin erkennen kann, oder den Care-O-bot II aus Deutschland, der komplexe Aufgaben in dynamischen Umwelten erledigen kann (Decker 2008, S. 321; Sharkey/Sharkey 2012, S. 6). Eine Forschungsgruppe aus Japan befasst sich mit der Personalisierung von Pflegerobotern durch die Integration von Smart Services, welche an die Vorlieben und Gewohnheiten der jeweiligen PflegeempfängerInnen angepasst werden. Ermöglicht wird diese individualisierte Pflege mittels einer sogenannten „care cloud“, auf der unter anderem persönliche Informationen der zu Betreuenden gespeichert werden (Tokunaga et al. 2016). Ethische und rechtliche Fragen, die durch viele der in diesem Kapitel angeführten Anwendungsbeispiele aufgeworfen werden, werden im folgenden Kapitel 1.5 – Gesellschaftliche, ethische und rechtliche Herausforderungen – besprochen.

Prothesen

Prothesen stellen zum derzeitigen Zeitpunkt meist eine wenig attraktive Option dar, sofern Möglichkeiten traditioneller medizinischer Behandlung oder von Transplantationen bestehen. Es wird aber erwartet, dass mit weiterer Entwicklung der Prothesentechnologien auch deren Attraktivität steigen wird (Vujaklija et al. 2016). Diskutiert wird im Zusammenhang mit der Entwicklung von Prothesen auch der Aspekt von „human enhancement“, basierend auf der Erwartung, dass in Zukunft Prothesen stärkere Leistungen erzielen können als biologische Körperteile (Honigsbaum 2013). In Österreich wurden sogenannte „elektive Amputationen“ schon in mehreren Fällen durchgeführt, bei denen eine Handprothese mehr Bewegung und Funktionalität versprach, als die durch Unfälle geschädigten biologischen Hände (Bowdler 2011).

Im Jahr 2015 wurde von der US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) angekündigt, eine Armprothese entwickelt zu haben, welche nicht nur durch neuronale Signale gesteuert werden kann, sondern zudem den Tragenden das Empfinden von Berührung übermitteln kann (Murphy 2015). Zu den am weitesten fortgeschrittenen Handprothesen, welche am Markt erhältlich sind, zählt das Produkt von BeBionic, welches für Beträge zwischen \$ 25.000 und \$ 35.000 erhältlich ist. Neben Arm- und Beinprothesen gibt es bereits eine Reihe weiterer künstlicher Organe oder Körperteile bzw. wird an deren Entwicklung gearbeitet, wo-

*Vom Ersatz zum
„human enhancement“*

bei diese in der Regel nicht zu Robotikanwendungen zählen. Dazu gehören unter anderem auch künstliche Herzen, Augen, Milz, Nieren, Pankreata, Luftröhren und Innenohren, wobei diese noch nicht so leistungsfähig wie ihre biologischen Gegenstücke sind (Niman 2013).

Chirurgie

Telerobotik Im chirurgischen Bereich spielt die Telerobotik (ein Teilgebiet der Robotik, welches sich mit ferngesteuerten Robotern befasst) eine wesentliche Rolle. Das Konzept der Verwendung von Telerobotik für die Chirurgie entstand schon in den 70er Jahren, angetrieben durch den Wunsch der National Aeronautics and Space Administration (NASA), chirurgische Eingriffe für Astronauten zu ermöglichen. Erste Prototypen erschienen erst 15 Jahre später, hauptsächlich im militärischen Anwendungsbereich. Telerobotik erlaubt es ChirurgInnen, auch bei großer örtlicher Distanz Operationen an PatientInnen durchzuführen. Erste kommerzielle chirurgische Roboter waren bereits Ende der 80er erhältlich.

Unterstützung und Ersatz menschlicher Chirurgen Im Bereich der Chirurgie sind neben der Telechirurgie zwei weitere Entwicklungsrichtungen zu beobachten: kooperativ gesteuerte Roboter und automatisierte Applikationen (Takács et al. 2016). Im Fall der kooperativ gesteuerten Roboter führt ein ChirurgIn die Operation durch den Roboter aus, der dabei mögliches Zittern der Hände abfängt und gleichzeitig hochsensibel auf Veränderungen der Gewebestruktur reagieren kann. Auf diese Weise werden neue Möglichkeiten in der Mikrochirurgie geschaffen (Takács et al. 2016, S. 24). Der Smart Tissue Autonomous Robot (STAR) ist ein Beispiel für automatisierte Anwendung. STAR ist dazu in der Lage, mit geringer Unterstützung bzw. komplett selbstständig eine Naht zu setzen. In entsprechenden vergleichenden Tests erfüllte er diese Aufgabe besser als die menschlichen ChirurgInnen (Strickland 2016).

Therapie & Rehabilitation

Exoskelette

Hybrid Assistive Limbs Die Anwendungsgebiete für Exoskelette sind vielfach und beschränken sich nicht auf den Pflegebereich. Insbesondere finden sie auch in militärischen Kontexten Anwendung. Der HAL (Hybrid Assistive Limb) von Cyberdyne ist wahrscheinlich das bekannteste Beispiel dieser Kategorie und wirbt mit Anwendung in medizinischen sowie auch in nicht-medizinischen Bereichen, wie im Pflegebereich und im Einsatz am Arbeitsplatz bei Aufgaben mit hohen körperlichen Belastungen¹⁷. Hauptsächlich soll HAL gehbehinderten Individuen im Alltag, sowie auch SeniorInnen mit Gehschwächen dienen. Zurzeit werden HAL-Einheiten primär in Krankenhäusern eingesetzt, oder auch zum Zwecke der Rehabilitation nach Wirbelerletzungen oder Schlaganfällen. HAL-Exoskelette können Nervensignale bei ei-

¹⁷ Siehe die Cyberdyne-Website unter: cyberdyne.jp/english/ (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

ner Bewegungsabsicht erkennen, und führen dann automatisch die gewünschte Bewegung aus. Die ursprüngliche Stärke kann dabei um einen Faktor 2 bis 10 vervielfacht werden. Eigens entwickelte HAL-Einheiten könnten auch bei Reaktorunfällen wie in Fukushima bei den Aufräumarbeiten eingesetzt werden (Forbes 2015). Auch Honda befasst sich mit dem Thema der Exoskelette und unterstützt mit ihrem „Walking Assist“ und „Stride Management Assist“ Geh Tätigkeiten für Menschen mit geschwächten Muskelfunktionen, die aber noch die Fähigkeit besitzen, selbstständig zu gehen (Sharkey/Sharkey 2012, S. 6).

Therapie

Paro, ein robbenförmiger Roboter, gilt als einer der bekanntesten Roboter in der Altenpflege und ist mit taktilen Sensoren sowie Licht-, Temperatur-, Audio- und Haltungssensoren ausgestattet. Er kann Namen lernen, grüßen und durch Feedback wie Streicheln oder Schlagen lernen, welche Verhaltensweisen erwünscht sind. Besonders oft findet dieser Roboter Anwendung bei Menschen, welche unter Alzheimer oder anderen Formen der Demenz leiden¹⁸. Zu Therapierobotern in tierähnlicher Gestalt zählt auch der soziale Roboter „Haptic Creature“, welcher das Erscheinungsbild eines Haustiers hat und durch Berührung mit Menschen interagiert. Der Roboter kann den emotionalen Zustand des Menschen spiegeln oder für therapeutische Anwendungen beispielsweise mit positiven ruhigen Emotionen reagieren (Yohanan/MacLean 2008).

*Roboter als
Streicheltiere*

Ein weiterer Bereich, mit dem sich Entwickler in den letzten Jahren beschäftigt haben, ist die Entwicklung von Therapierobotern für Kinder mit Autismus. So soll „Robota“, eine Serie von Therapierobotern in Puppen-gestalt, dazu beitragen, Kindern mit LFA (low-functioning autism) durch interaktive Imitationsspiele einfaches koordiniertes Verhalten beizubringen und die Imitationsfähigkeit der Kinder festzustellen (Billard et al. 2007). KASPAR, entwickelt von der Adaptive Systems Research Group der Universität von Hertfordshire, ist ein weiteres Beispiel für einen sozialen Roboter in Kindesgestalt, welcher für autistische Kinder als Mediator dient (Wainer et al. 2010).

Kinder mit Autismus

1.4.3 Landwirtschaft

Feldbewirtschaftung

In der Landwirtschaft werden zurzeit schon autonom fahrende Agrarmaschinen eingesetzt, welche durch Sensoren und Satellitensignale gesteuert werden. Allerdings dürfen diese Maschinen noch nicht auf öffentlichen Straßen unterwegs sein. Bonirob ist ein Beispiel eines Feldroboters, welcher Unkraut erkennen und jäten kann. Zusätzlich besitzt Bonirob die Fähigkeit, Stickstoffgehalt und Wasserversorgung zu erfassen. Zukünftig könn-

¹⁸ Siehe die Paro-Website unter: parorobots.com/ (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

ten Drohnen auf dem Feld eingesetzt werden, um eine Kontrolle der Erträge und Schäden zu liefern (Metz 2017). Der französische Roboter Wall-Ye ist auf den Weinanbau spezialisiert und kann an einem Tag 600 Reben bearbeiten. Ausgestattet ist der Roboter mit Tracking-Technologie und künstlicher Intelligenz, sowie Sicherheitssystemen, um ihn vor Diebstahl zu schützen: Befindet sich der Roboter auf einem ihm nicht zugeordneten Weinberg, so startet er nicht; außerdem kann er einen Hilferuf an seineN BesitzerIn aussenden, wenn er aufgehoben wird (Wrenn 2012). Zwischen 2010 und 2014 förderte die Europäische Union das RHEA-Projekt, welches sich mit Robotersystemen für Unkrautbekämpfungsmethoden auseinandergesetzt hat. Unkräuter-Erkennung erfolgt dabei basierend auf Laser-Sensoren und Kameras; GPS und Kommunikationssystemen dienen der Orientierung und Übermittlung der Ergebnisse, wobei Drohnen und Bodenroboter eingesetzt werden. Erzielt wird dabei eine Senkung des Chemikalieneinsatzes und der Produktionskosten in der Landwirtschaft, sowie eine Steigerung der Qualität, Gesundheit und Sicherheit¹⁹.

Viehhaltung

Auch in der Viehhaltung finden Roboter schon breite Anwendung: Melkroboter liefern zusätzlich Angaben über die Milchmenge einzelner Kühe und fahrende Roboter sind dazu fähig, Futter auszuteilen und Exkremente wegzuschieben (Metz 2017). An mobilen Melkrobotern, welche mit den Kühen über die Weiden ziehen, wird schon seit Jahren in den Niederlanden gearbeitet (Kragt 2008).

1.4.4 Militärbereich

Rasanter Anstieg der Militärrobotik in den USA

Technologische Fortschritte der Robotik im militärischen Bereich werden als neue militärische Revolution betrachtet. Militärroboter werden hauptsächlich eingesetzt, um Tätigkeiten auszuführen, welche in die sogenannten „Three Ds“ fallen: „dull“, „dirty“ und „dangerous“ (Pfimlin 2017). Infolge der Terroranschläge vom 11. September 2001 kam es in den USA zu einer drastischen Erhöhung des militärischen Budgets, welche auch zu einem massiven Aufschwung der Industrie der Militärrobotik führte (Singer 2009). Seit 2009 werden in den USA DrohnenbedienerInnen ohne Flugerfahrungen ausgebildet, ihr Arbeitsplatz besteht aus mit Bildschirmen ausgestatteten Kabinen (Helmre 2009).

Konkrete Einsätze

Zu Beispielen der heute schon eingesetzten Militärroboter gehört beispielsweise der SGR-A1 von Samsung, welcher seit dem Jahr 2013 von Südkorea als Überwachungsroboter an der innerkoreanischen Grenze eingesetzt wird. Ausgestattet ist dieser Roboter mit Hochleistungskameras, Sensoren, einem Maschinengewehr sowie Stimmerkennungssystem und einer Stimme, welche Individuen dazu auffordern kann, die Hände zu heben.

¹⁹ Siehe die RHEA-Projektseite unter: rhea-project.eu/Summary.php (zuletzt abgerufen am 15.05.17).

Der SGR-A1 besitzt die Fähigkeit im Automatikmodus zu laufen, zurzeit werden Schießbefehle jedoch noch von Menschen erteilt (Pfimlin 2017). Ein weiterer Roboter zur Grenzkontrolle ist „Guardium“, ein unbewaffneter Bodenroboter, welcher in Israel eingesetzt wird und jederzeit mit Waffen ausgestattet werden kann (Becker 2016). In mittlerer Zukunft wird auch erwartet, dass bemannte Militärflugzeuge obsolet sein werden.

Auch im österreichischen Bundesheer werden Roboter genutzt. So wird beispielsweise der ferngesteuerte Entschärfungsroboter „Theodor“ eingesetzt, der mit Hilfe eines Röntgenmoduls verdächtige Pakete untersuchen und, falls notwendig, entschärfen kann (BMLVS 2009). Seit 2013 wurde außerdem an einem „Autonomie-Kit“ (BMLVS Amt für Rüstung und Wehrtechnik 2015, S. 47) geforscht, das verschiedene Fahrzeugtypen modular um die Möglichkeit des autonomen Fahrens und der Fernsteuerung erweitert. Im April 2016 stellte das Bundesheer 18 neugekaufte Drohnen vor, die seit Juli 2016 zur Grenzüberwachung eingesetzt werden (BMLVS 2016c; BMLVS 2016a). Ebenfalls 2016 war Österreich Gastgeber der „European Land Robot Trails“ für Roboter und unbemannte Fahrzeuge, wobei das Bundesheer mit einem autonomen Traktor, einem ferngesteuerten LKW und einem Roboter teilnahm (BMLVS 2016b).

Nutzung in Österreich

Grundsätzlich wird bei autonomen, bewaffneten Militärrobotern unterschieden zwischen human-in-the-loop, human-on-the-loop und human-out-of-the-loop. Bei human-in-the-loop Robotern werden menschliche Anweisungen benötigt, um Ziele auszuwählen und anzugreifen. Human-on-the-loop Roboter können selbstständig Ziele selektieren und angreifen, ein menschlicher Betreiber des Roboters überwacht jedoch die Tätigkeiten und hat die Fähigkeit, einzugreifen. Human-out-of-the-loop Roboter selektieren und attackieren Ziele ohne menschlichen Input (Human Rights Watch 2012). Laut Pentagon wird stets ein Mensch „in-the-loop“ stehen, wobei diese Aussage auf große Skepsis stößt. Schließlich wird im US-Militär nicht mehr über die Frage diskutiert, ob autonome Waffen entwickelt werden sollen, sondern wieviel Freiraum ihnen gegeben werden soll. Im Jahr 2016 wurde eine unbewaffnete Drohne getestet, welche sich zwar nicht selbstständig aktivieren kann, aber nachdem sie Anweisungen erhält, wonach sie zu suchen hat, selbstständig entscheiden kann, wie sie ihre Aufgabe erfüllt (Rosenberg/Markoff 2016). Diese Art von Drohnen können natürlich auch mit unterschiedlichen Waffensystemen ausgestattet werden.

*Autonome
Militärroboter*

1.4.5 Ziviler Bereich

Polizei

Die Robotik-Entwicklungen im Militärbereich haben natürlich auch Konsequenzen für die Domäne der Polizei, da es da es sich hier um typische „dual-use“ Technologien handelt (Nagenborg et al. 2008). Dieser Anwendungsbereich wird besonders stark in den USA und in Japan erforscht, wobei sich die Forschung und Entwicklung hier noch in einer explorativen Phase befinden. Die beiden Hauptanwendungen liegen derzeit bei Bewa-

*Dual-use der
Militärrobotik*

chungssystemen und bei der Entschärfung von Sprengstoffen. Polizeikräfte setzen vermehrt Smarte Kameras ein, unter anderem in Verbindung mit Bodenrobotern und Drohnen. Diese Systeme besitzen derzeit nur begrenzt Autonomie und sind ferngesteuert.

Konkrete Beispiele

In den USA werden schon seit Jahren ferngesteuerte V-A1 Roboter eingesetzt, um gefährliche Situationen mithilfe ihrer Kameras und Ausrüstung zur Erkennung von Chemikalien zu erkunden (Gangloff 2009). Polizeiroboter, welche BürgerInnen Auskunft oder Hilfe anbieten können, sind in der ferneren Zukunft anzusetzen. Erste Versuche gibt es in diesem Bereich jedoch schon in Japan und den Vereinigten Arabischen Emiraten. In diesen Experimenten werden die Roboter als „städtische Überwachungsroboter“ bezeichnet und dienen der Identifizierung von verdächtigen Personen oder Verhalten, so wie auch der Bereitstellung von Unterstützung der Öffentlichkeit. Der Reborg-Q aus Japan hat neben einer Überwachungsaufgabe auch die Fähigkeit, Feuer, Rauch und Lecke zu erkennen, und das Wetter und Uhrzeit anzugeben. Getestet wurde dieses Modell in Einkaufshäusern, Flughäfen und Hotels. Wird das Gesicht eines ungewollten Gastes oder Besuchers beispielsweise erkannt, so informiert der Roboter eine menschliche Sicherheitskraft darüber (Royackers/van Est 2015; Sharkey 2008). Auch im Stanford-Einkaufszentrum in Palo Alto, Kalifornien, wird ein Polizeiroboter namens K5 eingesetzt. Dieses Modell ist mit Mikrofonen, Lautsprechern und Infrarot-Kameras ausgestattet und kann Mobiltelefone in der näheren Umgebung erkennen und sowie Autokennzeichen scannen, um unerwünschte BesucherInnen zu identifizieren. Menschlichen Sicherheitskräften werden diese Daten über Apps übermittelt (Frankfurter Allgemeine 2016).

Für die ferne Zukunft wird auch an der Idee gearbeitet, Polizeirobotern ein möglichst naturgetreues Erscheinungsbild zu geben, damit sie mit der Bevölkerung interagieren können. Angestrebt wird auch, Polizeiroboter mit der Fähigkeit auszustatten, biometrische Daten aufzunehmen. So sollen diese Gesichter, Fingerabdrücke und Retina erkennen, DNA testen und den Puls, Atmung und Temperaturänderungen messen können. Durch den Einsatz von Schwarmintelligenz ist ein flächendeckendes Polizeinetz vorstellbar und auch der Zugang von Polizeirobotern zu persönlichen Daten vom Vorstrafenregister bis zum Freundeskreis ist denkbar (Sharkey 2008).

Akzeptanz

Um im öffentlichen Bereich effektiv zu sein, müssen Polizeiroboter von der Bevölkerung akzeptiert und deren Anweisungen befolgt werden, – und zwar auch von Menschen, die sich in emotionalen Ausnahmezuständen befinden. Salvini et al. (2010) weisen darauf hin, dass insbesondere junge Menschen oftmals aggressiv auf Überwachungsroboter reagieren, was eines von vielen Akzeptanzproblemen darstellen könnte.

Such-, Not- und Rettungsdienst

Bereits 2001 wurden die ersten ferngesteuerter Roboter im Suchdienst eingesetzt. Bei den Rettungsarbeiten am World Trade Center wurden kleine Roboter, die mit Licht, Kamera, Funkgerät und Wärmebildkamera ausgestattet sind, zur Suche nach Vermissten dort eingesetzt, wo Menschen und Suchhunde nicht weiterkamen (Goliash 2006). Seitdem werden immer mehr Roboter nach Katastrophen oder Unfällen eingesetzt. Insbesondere Drohnen kommen in Aufklärungsmissionen, beispielsweise nach Bränden, zum Einsatz (Lill 2014).

Suche nach Opfern

Beim RoboCup, einem Roboterwettbewerb mit 17 Disziplinen, können ForscherInnen jährlich ihre Roboter in einem nachgebildeten Katastrophenszenario testen („RoboCup Rescue“). Dabei müssen sie mithilfe ihrer Sensorik die Puppen finden, die die Opfer des Szenarios darstellen. Das Team der Fachhochschule Kärnten gewann 2016 in der Kategorie „Best in Class Small Robot Dexterity“ mit seinem Roboter „TRUDI“ (Third Robot for Urban Disaster Intervention). Dieser konnte seinen Manipulationsarm besonders geschickt einsetzen, um beispielsweise Türen oder Ventile zu öffnen (Fachhochschule Kärnten 2016).

Umwelt

Im Bereich des Umweltschutzes werden Roboter und Drohnen zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt. Neben der Schadstoffmessung und der Suche nach Quellen von Umweltbelastungen können sie auch deren Beseitigung eingesetzt werden, insbesondere wenn es sich um gefährliche oder für Menschen schwer zugängliche Einsatzgebiete handelt. So stellte der schleswig-holsteinische Umweltminister Robert Habeck Anfang 2016 Pläne für einen Unterwasserroboter vor, der selbstständig Munition bergen, unschädlich machen und entsorgen soll. So sollen die 1,6 Millionen Tonnen Munition in den deutschen Küstengebieten schneller sowie umwelt- und tierfreundlicher beseitigt werden (FOCUS 2016).

Aufklärung und Beseitigung

Wissenschaftliche Unterstützung

Nicht nur in den Umweltwissenschaften werden Roboter zur Unterstützung der ForscherInnen eingesetzt. Ein prominentes Beispiel ist Curiosity, der von der NASA auf den Mars geschickte Roboter. Dieser analysiert dort die Geologie und die klimatischen Bedingungen, um herauszufinden, wie sich der Planet im Laufe der Zeit verändert hat (NASA 2015). Auch für die Laborforschung werden Roboter zur Unterstützung entwickelt. Beispielsweise kann die Analyse von Wasser- oder Gewebeprobe so automatisiert werden. Um die Erforschung der Ozeane und insbesondere des Meeresboden voranzutreiben, werden ebenfalls Roboter eingesetzt. Dieses Jahr tritt ein Team des deutschen Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung mit einem Tiefseeschwarm beim internationalen Wettbewerb „Shell Ocean Discovery XPRIZE“ an, bei dem das Ziel die Erstellung von möglichst detaillierten 3-D-Karten des Meeresbodens ist (Graser 2017).

1.4.6 Kommerzieller Bereich

Bergbau & Mineralien

Rohstoffgewinnung

Im Tagebau werden Roboter bereits eingesetzt, um Rohstoffe zu gewinnen. Durch die Nutzung von GPS-Karten stellt die Navigation der Roboter kein Problem dar. So werden etwa in der „Mine of the Future“ in Australien bereits 71 autonome Fahrzeuge und eine autonome Fördereisenbahn eingesetzt (Hommel 2016).

Die Orientierung unter Tage stellt die ForscherInnen vor größere Herausforderungen. So wird in Freiberg beispielsweise an „Alexander“ geforscht, einem Roboter, der mithilfe von Laserscannern eine Karte des Bergwerks erstellen soll, mit dem Ziel, dort auch Strahlung, Temperatur, Luftdruck und Gaskonzentrationen zu kartieren. Neben den Problemen in Navigation und Fortbewegung gestaltet sich auch die Stromversorgung als schwierig: Alexander kann nur eine Stunde lang arbeiten, bevor sein Akku erschöpft ist. Das langfristige Ziel ist die vollständige Automatisierung untertage, so dass keine Menschen unter Tage arbeiten müssen. Somit können Kosten eingespart werden, die durch die Frischluftversorgung oder die Schichtwechsel entstehen. Gleichzeitig werden die MitarbeiterInnen auch vor Unfällen unter Tage geschützt. Viele Ressourcen – insbesondere in Europa – liegen in dem Menschen nicht zugänglichen Lagerstätten, weshalb die EU das „VAMOS“-Projekt (Viable Alternative Mine Operating System) fördert, welches die Entwicklung eines ferngesteuerten Spezialbaggers zum Ziel hat (Hommel 2016).

Versorgung & Service

Um große Baustellen und die daraus eventuell resultierenden Engpässe in der Versorgung der Bevölkerung mit Strom, Gas oder Wasser zu verhindern, wird in Leeds derzeit daran geforscht, die Vision einer sich selbst-reparierenden Stadt umzusetzen. Der Schlüssel zu weniger Problemen besteht in der frühzeitigen Diagnose und Behandlung von Problemen, so dass diese in einem geringen Umfang verbleiben. Die Forschungen fokussieren sich auf drei Einsatzbereiche: Drohnen, die beispielsweise Straßenlaternen oder andere Infrastruktur reparieren sollen; Drohnen, die den Zustand der Straßen überwachen und bei Bedarf Schlaglöcher reparieren sollen; und Roboter, die Versorgungsleitungen von innen inspizieren, über deren Zustand berichten und gegebenenfalls Reparaturen durchführen sollen (University of Leeds 2015).

Bau & Demolierung

Roboter als Bauarbeiter

Thomas Bock, Professor für Baurealisierung und Baurobotik der TU München, schätzt, dass potentiell für rund 80 Prozent der Arbeiten auf einer Baustelle Roboter eingesetzt werden könnten. Entscheidend sei, dass die Roboter flexibel und für die Arbeit im Freien passend gestaltet werden (Baublatt 2016).

„Hadrian“ der Firma Fastbricks Robotics aus Australien ist ein Beispiel für einen solchen Roboter. Er kann rund 1000 Ziegelsteine pro Stunde verarbeiten und schafft damit um einiges mehr, als die schnellsten menschlichen Bauarbeiter. Mit einem 28 Meter langen Teleskoparm kann er auf Basis eines 3-D-CAD-Bauplans die Ziegel platzieren und arbeitet dabei ohne menschliche Unterstützung auf 0,5 mm genau (Schroeder 2015).

Auch in anderen Ländern wird an Robotern für den Bau gearbeitet. Der in der Schweiz entwickelte „In Situ Fabricator“ soll den Einsatz von Schalungen im Mauerbau überflüssig machen, indem er ein speziell geformtes Stahlgitter mit Beton mit besonderen Fließigenschaften ausfüllt. Der Roboter, der aus handelsüblichen Komponenten zusammengebaut wird, kann somit die Baukosten reduzieren. Gleichzeitig ermöglicht diese Bauweise eine größere Flexibilität in der Formgebung (Pluta 2016).

1.4.7 Logistik & Transport

Menschen- & Gütertransport

Die langjährigen Bemühungen und Entwicklungsarbeiten, Drohnen oder Roboter zur Paketzustellung einzusetzen, beginnen in einer Phase der kommerziellen Nutzung einzutreten. So erlaubt der US-Bundesstaat Virginia ab dem 1. Juli 2017 Roboter-Lieferboten. In Zukunft sollen diese Roboter Liefertätigkeiten von Menschen übernehmen können und kleine Päckchen bis an die Haustür bringen. Bewegen sollen sich diese rollenden Roboter am Gehsteig, das Öffnen der Lieferbox erfolgt über Handy-Code. Laut Aussage des Anbieters sind rollende Roboter für städtische Umgebungen gut geeignet, für ländliche Regionen wären Drohnen besser geeignet (von Petersdorff-Campen 2017). Auch in Hamburg wurden Zustellroboter bereits getestet. Für diese ersten Fahrten zur Auslieferung von bis zu 15 kg schweren Paketen musste der Paketdienstleister Hermes eine Sondergenehmigung beantragen. Ausgehend von einem Lieferwagen als Basis sollen dabei mehrere Roboter mit einem Radius von etwa fünf Kilometer die Aufgabe des menschlichen Paketzustellers übernehmen (Die Welt 2016).

Paketzustellung

Mit der Entwicklung von autonomen Fahrzeugen sind radikale Veränderungen im Individualverkehr und Gütertransport zu erwarten, welche, wie auch schon die Massenproduktion von Automobilen selbst, mit starken Auswirkungen auf Bereiche wie Stadtplanung, Umwelt, Gesundheit, Verkehrssicherheit und den Alltag der Menschen einhergehen wird. Das Automobil gilt bis heute als Ausdruck der persönlichen Freiheit und des gesellschaftlichen Status. Diese symbolische Funktion des Autos dürfte auch dazu beitragen, dass die Übertragung von menschlicher Autonomie zu selbstfahrenden Fahrzeugen oft als gravierender empfunden wird, als die Automatisierung von Entscheidungen durch Algorithmen in anderen Bereichen, die möglicherweise viel tiefere Eingriffe in die Lebensführung des Einzelnen bedeuten können. Dazu zählen etwa Personalentscheidungen oder die Einstufung als Sicherheitsrisiko aufgrund von Analysen des Ver-

Autonomes Fahren

haltens in sozialen Netzwerken. Zudem gilt die Automobilindustrie auch in Österreich als bedeutender Industriezweig, der gesamte Bereich der Automobilindustrie, inklusive dem Handel und der Reparatur, erwirtschaftet einen Umsatz von 43 Mrd. Euro (Krieger-Lamina/Peissl 2016).

Van Assistenzsystemen zu Autopiloten

Während vollständig autonome Autos noch auf spezifische Anwendungen oder eigens eingerichtete Teststrecke beschränkt sind, entwickeln und verbreiten sich Assistenzsysteme für Autos rasant, unterstützt von der Industrie, Forschungseinrichtungen und Regierungen. Ziele dieser Assistenzsysteme sind die Steigerung von Sicherheit und Komfort sowie die Verminderung von Risiken (Krieger-Lamina/Peissl 2016). Erwartungsgemäß wird sich die Automatisierung des Fahrens graduell entwickeln, wobei FahrerInnen langsam immer mehr Fahrtätigkeiten an das Fahrzeug übergeben. Advanced Driver Assistance Systeme (ADAS) würden Entscheidungen über Geschwindigkeit und eingehaltenen Distanzen zwischen Fahrzeugen übernehmen, sowie gleichzeitig auch eine Aufsichtsfunktion über FahrerInnen innehaben (Dragutinovic et al. 2005; Royakkers/van Est 2015).

Kooperative Systeme

Auf den Weg zur und bei der Realisierung von autonomen Fahrzeugen und Verkehrssystemen spielen Kommunikation und Kooperation eine große Rolle. Um die Realisierung dieser Systeme zu fördern, hat sich die Europäische Kommission vorgenommen, kurzfristige technische Spezifikationen vorzuschlagen, welche benötigt werden um den Austausch von Daten und Informationen zwischen Fahrzeugen (C2C/V2V) bzw. zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (V2I) zu erlauben. Beim sogenannten „train driving“ tauschen die Fahrzeuge untereinander Informationen über Geschwindigkeit, Position und Beschleunigung aus (Royakkers/van Est 2015, S. 555), die Verkehrsdichte kann somit optimiert und der Treibstoffverbrauch gesenkt werden. Dieses Konzept wird bei Anwendung für LKW-Konvois als „Platooning“ bezeichnet, mit erwarteter Serienreife ab 2020 laut dem Head of Product Management bei Kapsch TrafficCom Schweden (Christof 2016). Auch das Suchen von Parkplätzen könnte durch die Kommunikation zwischen Fahrzeugen durch WLAN-Netzwerke in Zukunft erleichtert werden (Krieger-Lamina/Peissl 2016).

Markteinführung

Erste konkrete Anwendungsgebiete autonomer Fahrzeuge werden vermutlich das Taxigeschäft und der Schwerverkehr sein, wobei Unternehmen wie Google, General Motors und Volkswagen in den letzten Jahren mehrere hunderte Millionen Euro in Taxiunternehmen und Mitfahrdienste investiert haben (Krieger-Lamina/Peissl 2016). Vor dem Jahr 2020 ist völlig autonomes Fahren im Alltagsverkehr nicht zu erwarten, trotz gegenteiliger Aussagen aus Industriekreisen, zum Beispiel des Konsortiums BMW, Intel und MobilEye (Donath 2016) oder des CEO von Fiat Chrysler (ORF 2016), sondern eher um das Jahr 2030. Jedenfalls ist mit einer langen Übergangszeit zu rechnen, in der allein von Menschen gesteuerte Fahrzeuge, vollständig autonome Fahrzeuge, und semi-autonome Fahrzeuge gemeinsam im Straßenverkehr unterwegs sein werden (Krieger-Lamina/Peissl 2016).

Lagerhaltung

Analog zum Begriff der Industrie 4.0 wurde auch der Begriff der Logistik 4.0 geprägt, der die Vernetzung der digitalen Informationen aller im Prozess beteiligten Objekte und Personen bezeichnet (Bousonville 2017, S. 5). Erst durch die Logistik 4.0 werden viele Bereiche der Industrie 4.0, wie etwa die Dezentralisierung und Echtzeitfähigkeit, ermöglicht. Besondere Beachtung finden dabei Assistenz- und Optimierungssysteme für die FahrerInnen wie auch in der Kommissionierung, Unterstützung in der Datenerfassung und -verarbeitung, Möglichkeiten der Prognostizierung sowie Konzepte zur Dezentralisierung und Autonomie (Pichler 2015).

Logistik 4.0

Im Bereich der Intralogistik und Lagerung kommen vor allem solche Roboter zum Einsatz, die die Waren zu den MitarbeiterInnen bringen. So vertreibt die österreichische Firma Knapp die „Smart Shuttles“²⁰, kleine Transportfahrzeuge, die durch die Regalreihen navigieren. Amazon nutzt in einigen Verteilzentren Roboter, die den LagerarbeiterInnen die Aufgabe abnehmen, zu den jeweiligen Regalen laufen zu müssen, indem sie die benötigten Regale zu ihnen bringen (Nördinger 2015). Generell werden für die Kommissionierung vermehrt Roboter eingesetzt, wie beispielsweise der „Robo-Pick“²¹ der deutschen Firma SSI Schäfer, der in der Lage ist, verschiedenartige Produkte für Lieferungen zusammenzustellen, ohne, dass er vorher auf die speziellen Produkte trainiert werden muss. Die größte technische Herausforderung in diesem Bereich ist die Bildverarbeitung zum Erkennen einzelner Artikel.

Kommissionierung

Auch in kleineren Unternehmen wie beispielsweise Apotheken werden Lagerroboter eingesetzt. Durch den Einsatz wird der notwendige Lagerplatz verringert und die benötigte Zeit, bis die KundInnen das Medikament erhalten, verkürzt. Außerdem haben die MitarbeiterInnen so mehr Zeit, um weitere Hinweise oder besondere Empfehlungen auszusprechen, statt im Lager nach Medikamenten zu suchen (Michels 2009).

1.4.8 Konsumentenroboter

Haushaltsgeräte

Zu den funktionalen Hausrobotern zählen Roboter mit den Fähigkeiten, Hausarbeiten zu meistern. Derzeit ist schon eine Reihe von Robotern am Markt erhältlich, welche gezielte einfache Tätigkeiten übernehmen können. Man denke beispielsweise an Saugroboter (Staubsaugerroboter, Fenster-sauger, Wischroboter, Poolsauger), Rasenmäher-Roboter oder Regenrinnenreinigungsroboter. Insgesamt gibt es aber in diesem Bereich eine große Kluft zwischen den Erwartungen und der Realität: Nicht nur sind selbst

*Hauptanwendungen
Saugen und
Rasenmähen*

²⁰ Siehe: knapp.com/loesungen/technologien/lagern/ (zuletzt abgerufen am 16.05.17).

²¹ Siehe: ssi-schaefer.at/foerder-und-kommissioniersysteme/automatische-kommissionierung/pick-roboter.html (zuletzt abgerufen am 16.05.17).

spezialisierte Staubsaugerroboter keineswegs umfassend zufriedenstellend (s. u.), die Vision des multifunktionalen Haushaltsroboters, welcher eine Vielzahl an Hausarbeiten übernehmen kann, bleibt bislang unerfüllt. Auch in der nahen Zukunft sind hier keine großen Innovationen zu erwarten. Hausarbeiten basieren zu einem großen Teil auf sogenannten „common-sense decisions“, welche zurzeit, und erwartungsgemäß auch nicht in der näheren Zukunft programmiert werden können (Royakkers/van Est 2015, S. 550-551). Der Einsatz heutiger Hausroboter mit ihren spezialisierten Aufgaben ist oft mit Komplikationen verbunden, zum Beispiel müssen Besitzer von Staubsaugrobotern oft ihren Lebensraum anpassen, um das Gerät effektiv einsetzen zu können. Zu solchen Anpassungen zählen das Umstellen von Möbeln und Teppichen sowie das Verschieben von Kabeln (Sung et al. 2008, S. 133). Die meisten TeilnehmerInnen der Studie von Sung et al., welche sich auf den Staubsaugerroboter „Roomba“ bezog, gaben an, zusätzlich noch manuell staubzusaugen, da Ecken und Stiegen sowie bestimmte Materialien nicht zufriedenstellend gereinigt werden. Aktuell werden Roboter für weitere Aufgaben eingeführt, z. B. der ballförmige Gepäckroboter namens „Gita“ von der Firma Piaggio. Man kann darin seine Einkäufe verstauen, die einem dann vom rollenden Roboter hinterhergetragen werden (Kurz 2017). Bis multifunktionale Haushaltsrobotern verfügbar sein werden, welche effizient Aufgaben im Haushalt übernehmen können, müssen aber noch viele technische Herausforderungen überwunden werden (Royakkers/van Est 2015).

Unterhaltung

Vielfältige Ziele, wenig konkrete Vorstellungen

Im Vergleich zu Haushaltsrobotern gibt es weniger konkrete Erwartungen und Vorstellungen zu „Unterhaltungsrobotern“. Dies ist aber nicht weiter verwunderlich, sind doch auch die Ziele vielfältiger und weniger klar definierbar. Kommunikation, Unterhaltung, Spiel oder Entspannung können auf unterschiedliche Weise geboten werden; was als angenehm empfunden wird, hängt sowohl von der Person als auch von deren momentaner Stimmung ab. Mit Maschinen, welche oft Tieren oder Menschen ähneln, besteht hier eine fließende Grenze zu Therapierobotern. Beispiele wie Paro oder Keepon (s. o.) werden auch zu Therapiezwecken eingesetzt. Der Hauptzweck der sozialen Roboter ist das Nachspielen von sozialen und physischen Interaktionen, wobei die Interaktionsfähigkeit oftmals noch sehr limitiert ist, und daher schnell die Aufmerksamkeit der Menschen verlieren. Schon länger zurückliegende Versuche zeigen, dass das Interesse an solchen Roboter schnell nachlässt. Laut Tanaka et al. (2007) verbringen Menschen typischerweise insgesamt weniger als zehn Stunden mit solchen Unterhaltungsrobotern. Dies stellt einen gravierenden Unterschied im Vergleich zu Beziehungen von Menschen zu ihren Haustieren dar. In einzelnen Experimenten gelang es ihr, diese 10-Stunden-Barriere zu durchbrechen. Eine wichtige Rolle wurde hierbei der Reaktion des Roboters auf Berührung zugeschrieben. Durch effizientere und effektivere Interaktionsmöglichkeiten soll die Akzeptanz erhöht werden (Breazeal 2003; Heerink et al. 2008; Royakkers/van Est 2015). Vermehrter Forschung zu Mensch-

Roboter-Interaktionen wird große Bedeutung für den Erfolg sozialer Roboter zugeschrieben. Noch ist dieser Forschungsbereich sehr jung und es ist nicht zu erwarten, dass zumindest die kommerziell erhältlichen Roboter innerhalb der nächsten zehn Jahre mehr als eine Modeerscheinung bleiben und größere Verbreitung finden werden (Royakkers/van Est 2015).

Sexroboter zählen ebenfalls zur Kategorie der Unterhaltungsroboter als besondere Ausprägung von sozialen Robotern. In diesem Bereich ist eine größere Dynamik bei der kommerziellen Einführung von solchen Robotern zu beobachten. In der Presse wird regelmäßig über neue Modelle berichtet, so zum Beispiel im März 2017 über den Sexroboter „Samantha“, ein Silikon-Roboter mit künstlicher Intelligenz und zahlreichen Drucksensoren. Vom Entwickler wird von „Samantha“ dabei sogar die Vermittlung emotionaler Nähe durch „Samantha“ versprochen (Tech2 2017).

Sexroboter

Bildung

Dieser Abschnitt bezieht sich auf Roboter, die in der Schule eingesetzt werden sollen; Roboter zu Bildungszwecken könnten natürlich auch zuhause eingesetzt werden, etwa um bei Hausaufgaben zu helfen oder das Erlernen von Sprachen zu unterstützen. Sharkey (2016) teilt diese Roboter-kategorie für den Einsatz in der Schule in vier Gruppen ein: Roboter als Lehrer, als Begleiter und Gleichaltriger, als Sorge/Pflege hervorrufender Schützling oder als Telepräsenz-Lehrer.

Roboter als „Lehrer“

Roboter der ersten Gruppe sollen als respektinflößende Lehrende vor einer Klasse stehen und den Unterricht anstelle einer menschlichen Lehrperson leiten und gestalten. Nicht als Lehrer, sondern als gleichaltrige Begleiter gelten die Roboter der zweiten Gruppe, die den SchülerInnen als Gesprächspartner präsentiert werden. Für die Roboter der dritten Gruppe sollen die SchülerInnen Verantwortung übernehmen und sich um sie kümmern, um so soziale Verhaltensweisen zu lernen. Die Roboter der vierten Gruppe werden von Lehrenden ferngesteuert und ermöglichen es einem Lehrenden somit beispielsweise, in mehreren Klassenräumen gleichzeitig zu agieren.

Das Fazit, das Sharkey in ihrer Untersuchung fällt, zeigt deutliche Unterschiede zwischen diesen Gruppen. In manchen Situationen sieht sie Telepräsenz-Roboter als gute Lösung, SchülerInnen Möglichkeiten zu eröffnen, die ihnen sonst verwehrt geblieben wären, oder um den regulären Unterricht zu unterstützen. Insbesondere, wenn sie als Ergänzung neben einer menschlichen Lehrperson eingesetzt werden sollen, sieht sie den Einsatz relativ unbedenklich. Sharkey hält es für wahrscheinlich, dass die Roboter der Gruppen zwei und drei in Zukunft in Schulen eingesetzt werden. Diese Roboter implizieren neue Möglichkeiten, allerdings sind sie insbesondere im Hinblick auf die Privatsphäre der SchülerInnen kritisch zu betrachten. Das Extremszenario der ersten Gruppe findet sie nicht unterstützenswert, da sie die Entwicklung von Robotern, die einen wirklich adäquaten Ersatz der menschlichen Lehrkräfte darstellen, als nicht umsetzbar ansieht. Sie befürchtet Fehlverhalten solcher Roboter, um die Unzulänglichkeiten auszugleichen, und einen Verlust der Vorbildfunktion menschlicher Lehrpersonen.

1.5 Gesellschaftliche, ethische und rechtliche Herausforderungen

In diesem Abschnitt sollen die wesentlichen Herausforderungen skizziert werden, welche aus den Entwicklungen der Robotik resultieren. Die Unterscheidung in ethische, rechtliche und soziale Fragestellungen dient als Orientierungsrahmen und ist nicht als strenge Abgrenzung der Bereiche voneinander zu verstehen. Im Gegenteil, gesellschaftliche Probleme sind vielfach mit ethischen Anforderungen verzahnt, ebenso wie rechtliche Regulierungen ein zentrales Instrument der Durchsetzung gesellschaftspolitischer Anliegen darstellen.

1.5.1 Arbeitswelt

Die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt sind im Rahmen einer Vielzahl von wichtigen Fragen, die durch die fortschreitende Weiterentwicklung der Robotik angesprochen werden, von besonderer sozialer und wirtschaftlicher Relevanz. Politische Entscheidungen darüber, wie die Potenziale der Robotik ausgeschöpft und wie die positiven und negativen Folgewirkungen verteilt werden, sind nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht äußerst relevant, sie können auch als richtungsweisend für den gesellschaftlichen und politischen Zusammenhalt in Österreich und Europa angesehen werden.

Arbeitsmarkt quantitativ

Potentiale der Automatisierung

Über das quantitative Ausmaß der Konsequenzen für den Arbeitsmarkt wird umstritten diskutiert. Frey und Osborne veröffentlichten 2013 eine viel beachtete Studie über die Automatisierbarkeit von Berufen in den USA, in der sie Automatisierbarkeitswahrscheinlichkeiten für einzelne Berufsbilder analysieren. 47 % der Beschäftigten arbeiten dieser Studie zufolge in Berufen, die einem hohen Risiko der Automatisierung ausgesetzt sind (Frey/ Osborne 2013). Kritische Auseinandersetzungen mit dieser Studie stellen insbesondere das Ausmaß der Einsparungspotenziale infrage. In einer Übertragung dieser Studie auf die OECD-Länder (Arntz et al. 2016) kommen die AutorInnen zu dem Ergebnis, dass der berufsorientierte Ansatz die Situation falsch wiedergibt, da nicht alle Aufgaben eines Berufs in gleichem Maße automatisiert werden können. Unter diesen Annahmen sind deutlich weniger ArbeitnehmerInnen in hohem Ausmaß von Automatisierung bedroht. In Österreich ist laut dieser Studie der Arbeitsplatz von 12 % der ArbeitnehmerInnen einem hohen Automatisierungsrisiko ausgesetzt, die Zahl steigt auf 38 % bei ArbeitnehmerInnen mit geringem Einkommen (Arntz et al. 2016, S. 33-34). Eine Studie des WIFO (Peneder et al. 2016) fasst unter anderem die Ergebnisse von sieben Untersuchungen zum Automatisierungspotenzial von Berufen oder Tätigkeiten aus den Jahren 2013 bis 2016 zusammen. Insgesamt bewegen sich die Einschätzung der potentiellen Betroffenheit zwischen 59 % und 12 %; sofern Zahlen für Österreich ausgewiesen werden, bewegen sich diese zwischen 54 % bei berufsbezogenen Analysen und den oben erwähnten 12 % bezogen auf Tätigkei-

ten. Eine aktuelle Studie des IHS über die „Substituierbarkeit von Berufen im Zuge der Automatisierung durch Industrie 4.0“ (Nagl et al. 2017), die dem Modell einer Übertragung der Studie von Frey und Osborne auf Deutschland (Bonin et al. 2015) folgt und diese mit Daten für Österreich durchführt, kommt auf einen Anteil von 9 % der Beschäftigten, welche ein Tätigkeitsprofil mit einer hohen Wahrscheinlichkeit der Substitution durch Maschinen aufweisen. Der entsprechende Wert für Deutschland liegt bei 12 %.

Ehe man eine Interpretation dieser Werte in Hinblick auf real zu erwartende Effekte und wirtschaftspolitische Konsequenzen vornimmt, sind einige einschränkende Anmerkungen angebracht.

*Prognosen
sind mit Vorsicht
zu interpretieren*

- Erstens handelt es sich dabei um Schätzungen der Rationalisierungspotenziale, die wenig Aussagekraft für das Ausmaß, in welchem diese Potenziale tatsächlich realisiert werden, und für den Zeitraum, den solche Prozesse in Anspruch nehmen, haben. Diese Studien enthalten keine Daten oder Schätzungen zu Kompensations- oder Wachstumsprozessen, die mit neuer Beschäftigung einhergehen können.
- Zweitens tragen die aggregierten Werte nur ungenügend zu einer Bewertung des Handlungsbedarfs im Detail bei; selbst die Schätzungen am unteren Ende der Skala können gravierende Auswirkungen auf einzelne Berufsgruppen oder Qualifikationsstufen haben. Um den Handlungsbedarf im Einzelnen zu erheben und konkrete Empfehlungen entwickeln zu können, sind in der Regel spezifische Betrachtungen notwendig. Die disaggregierten Werte in den einzelnen Studien können einen Ausgangspunkt für bzw. für die Priorisierung von entsprechenden Detailstudien bilden.
- Drittens weisen die gravierenden Unterschiede zwischen berufs- und tätigkeitsbezogenen Einschätzungen der Automatisierungspotenziale – für die erste Kategorie werden bis zu fünfmal so hohe Werte geschätzt bzw. errechnet – auf systematische Über- bzw. Unterschätzungen hin. Genauso wenig wie eine hohe Wahrscheinlichkeit auf Basis der Berufe bedeutet, dass alle Tätigkeiten, die mit diesen Berufen verbunden sind, automatisiert werden können, bedeutet eine weniger hohe Wahrscheinlichkeit bei einzelnen Tätigkeiten, dass die damit verbundenen Arbeitsplätze in voller Anzahl erhalten bleiben. Vielmehr ist davon auszugehen, dass diese Tätigkeiten entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeiten auch tatsächlich automatisiert werden und es offen bleibt, inwieweit die freigewordene Zeit durch andere Tätigkeiten ausgefüllt wird oder die Anzahl an Arbeitsplätzen insgesamt entsprechend reduziert wird.
- Viertens ist die Nutzung von Grenzwerten der Wahrscheinlichkeit für die Berechnung der Automatisierungspotenziale aus methodischen Gründen zu hinterfragen. Die notwendigerweise willkürliche Festlegung von Grenzwerten bedingt ebenso willkürliche Ergebnisse. Die in der jüngsten Studie für Österreich errechneten 9 % von Beschäftigung mit einem hohen Automatisierungsrisiko basieren auf einem Grenzwert von >70 %.“Würde man die gewählte Grenze geringfügig darunter bei 60 % ansetzen, würde der Anteil der Beschäftigten, die von einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit betroffen sind, auf 39,5 % ansteigen“

(Nagl et al. 2017, S. 16). Wesentlich aussagekräftiger wären Berechnungen, welche die Werte für einzelne Berufe oder Tätigkeiten aggregierend zusammenfassen.

- Fünftens lassen sich die Ergebnisse dieser Studien nur sehr eingeschränkt vergleichen; neben unterschiedlichen methodischen Ansätzen sind auch die technischen Konzepte nicht einheitlich definiert. Der technische Fortschritt wird aber bei diesen Studien eher breit verstanden, etwa im Sinne der Digitalisierung im Allgemeinen, und betrifft daher mehr Arbeitsplätze, als durch die Industrie- und Servicerobotik direkt tangiert werden.

Primäreffekte negativ

Allein aus (betriebs-)wirtschaftlicher Rationalität werden sich Roboter nur in jenen Bereichen durchsetzen können, in denen sie zu geringeren Kosten der Produktion führen. Daher bringt der Einsatz von Robotern im Normalfall – eine Ausnahme wären etwa Fehlinvestitionen – negative primäre Effekte auf das Beschäftigungsvolumen mit sich. Unter primären Effekten wird hier der Saldo von durch Roboter ersetzte Arbeit als Prozessinnovation und der für die Produktion dieser Roboter notwendigen Arbeit über den Lebenszyklus der Investitionen verstanden. In diesem Sinn können auch die häufig genannten zusätzlichen Arbeitsplätze, die durch die Produktion der Automatisierungstechnologien selbst entstehen, die Verluste nicht zur Gänze kompensieren. Dies gilt insbesondere unter der realistischen Annahme, dass für die Produktion und Wartung von Robotern höherqualifizierte und damit relativ teurere Arbeitskräfte eingesetzt werden.

Kompensation durch Sekundäreffekte?

Neben den primären Beschäftigungsverlusten wird durch Rationalisierungsmaßnahmen eine Reihe von weiteren Wirkungen ausgelöst, welche zu Beschäftigungszuwächsen führen können. Zu diesen sekundären Effekten zählen durch höhere Produktivität, verbesserte Produkte oder sinkende Preise ausgelöste zusätzliche Nachfrage oder eine Verbesserung der Position im internationalen Wettbewerb. Innovationen führen auch zu neuen Produkten und Dienstleistungen, welche wiederum zusätzliche Beschäftigung generieren. In diesem Zusammenhang sind trotz der skizzierten beträchtlichen Einsparungspotenziale auch Szenarien denkbar, bei denen die primären Beschäftigungseinbußen per Saldo in einem Beschäftigungsaufbau münden. Im „Industrie 4.0 Frontrunner“ Szenarium einer aktuellen Studie im Auftrag des BMVIT (Dinges et al. 2017) gelingt es Österreich, durch Kostenreduktionen sowie durch die Entwicklung von neuen Produkten und Dienstleistungen über steigende Wettbewerbsfähigkeit und Exporte entstehende Beschäftigungsverluste mehr als zu kompensieren. Das Eintreten dieses Szenariums wird in der Studie selbst als sehr wünschenswert, aber wenig wahrscheinlich eingeschätzt. Eine radikale Verbesserung der Wettbewerbsposition eines einzelnen Landes ist nur möglich, wenn die Konkurrenten auf entsprechende Maßnahmen zur Erhöhung ihrer Wettbewerbsfähigkeit verzichten, zudem können die entstehenden zwischenstaatlichen Ungleichgewichte insgesamt wachstumshemmend wirken. Um eine (möglichst hohe) Kompensation zu erreichen sind weitreichende Maßnahmen zur Unterstützung des digitalen Wandels und der betroffenen Beschäftigten notwendig.

Wie sich die Robotik und weitere Möglichkeiten der Automatisierung im Zuge der Digitalisierung längerfristig auf die Arbeitsmärkte auswirken, bedarf aber einer wesentlich komplexeren Analyse. Insbesondere im Bereich der Servicerobotik, oder ganz generell im Dienstleistungssektor, ist eine differenzierte Betrachtung der jeweiligen Beziehungen zwischen menschlicher und maschineller Arbeit notwendig, welche von Substitution oder Komplementarität dominiert sein können (Decker et al. 2017). Zudem sind Effekte, sowohl hinsichtlich des Ausmaßes der Automatisierung als auch deren Konsequenzen für den Arbeitsmarkt, auch zu einem erheblichen Teil von der Gestaltung von sozial- und wirtschaftspolitische Maßnahmen abhängig. In diesem Sinne ist auch der Aussage zuzustimmen, dass Studien zu den Rationalisierungspotenzialen wenig Prognosekraft besitzen und dass es bislang keine Evidenz dafür gibt, dass der „Arbeitsgesellschaft“ die Arbeit ausgeht (Tichy 2016). Daraus den Umkehrschluss zu ziehen, dass aufgrund der neuen Rationalisierungspotenziale kein besonderer wirtschafts- und sozialpolitischer Handlungsbedarf bestünde, ist aber keinesfalls zulässig. Denn der Verweis auf (mangelnde) historische Evidenz ist brüchig, indem zumindest implizit auf Wachstumsperioden im vorigen Jahrhundert hingewiesen wird, die durch langfristig höhere Wachstumsraten, verbunden mit einem niedrigen Ausgangspotenzial an Arbeitslosigkeit und einer ausgeglicheneren Verteilung der Einkommen gekennzeichnet waren.

Handlungsbedarf für positive Gesamteffekte

Regulative Rahmenbedingungen

Während die Einsparungspotenziale auf Basis von Berufen oder Tätigkeiten prinzipiell geschätzt und hochgerechnet werden können, hängen die konkreten Auswirkungen von einer Vielzahl von Faktoren ab, die wiederum von politischen Entscheidungen und regulativen Rahmenbedingungen beeinflusst werden, welche zumindest zum Teil auf nationaler Ebene gestaltbar sind. Dazu zählen etwa Arbeitszeitbestimmungen, insbesondere Regelungen der Wochenarbeitszeiten, oder Vorgaben von Mindestlöhnen. Dabei können diese Instrumente nicht nur in sozialpolitischer Hinsicht zur Abfederung von negativen Auswirkungen eingesetzt werden, sondern auch als aktive Strategie, indem der Wirtschaft Anreize zu verstärkten Investitionen in Rationalisierungsmaßnahmen und somit zur langfristigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit geboten werden.

Auf einer volkswirtschaftlichen Ebene wird das optimale Verhältnis von menschlicher Arbeit und automatisierter Produktion durch das Verhältnis von deren relativen Kosten bestimmt. Durch den technischen Fortschritt ist die maschinelle Produktion durch steigende Fähigkeiten bei sinkenden Kosten gekennzeichnet. Allein durch diese Entwicklung wird sich, wie in allen Studien bestätigt, der Grad der Automatisierung weiter erhöhen. Für eine Beschleunigung und Verstärkung des Ausmaßes der Rationalisierung wäre aber auch eine Erhöhung der Kosten der menschlichen Arbeit notwendig.

Kosten menschlicher und maschineller Arbeit

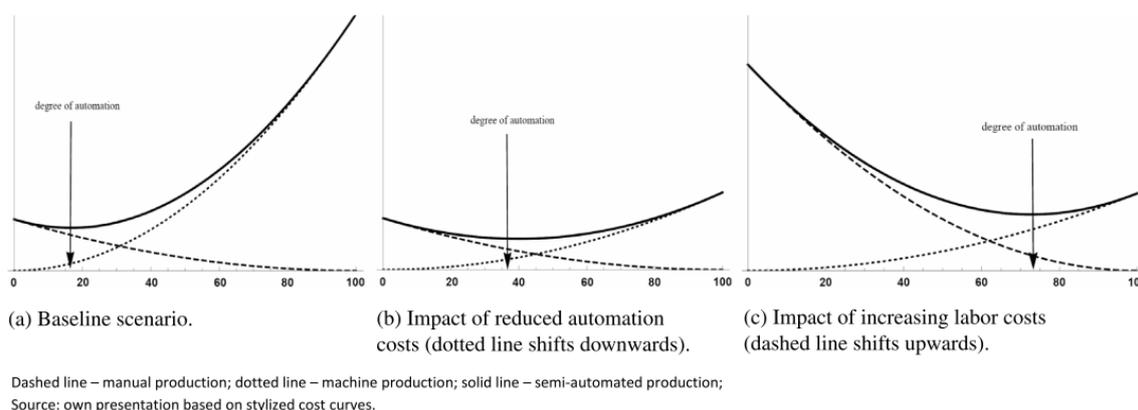


Abbildung 5: Inputkosten und optimaler Automatisierungsgrad (Quelle: Decker et al. 2017, S. 349)

Beschäftigungsstruktur

Positive Anreize durch Verkürzung der Arbeitszeit

Die in der Grafik wiedergegebenen Kostenverläufe oder Prozentangaben zu den Automatisierungsgraden sind als stilisierte Fakten ohne Bezug zu empirischen Daten zu verstehen. Dennoch verdeutlichen sie die Rolle der Kostenverhältnisse für den Automatisierungsgrad und geben Hinweise für politische Entscheidungsspielräume. Grundsätzlich lässt sich die Wettbewerbsfähigkeit, neben einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen wie etwa die Förderung von Innovation, als zentrale Parameter über (sinkende) Lohnkosten oder (gesteigerte) Rationalisierung der Produktion von materiellen und immateriellen Gütern beeinflussen. Im Sinne einer langfristigen Sicherung von sozialer Sicherheit und Wohlstand ist eine weitgehende Nutzung der durch die Technik gebotenen Innovation- und Rationalisierungspotenziale zu bevorzugen. Die Bedeutung von Digitalisierung und Innovation für Wachstum, Wertschöpfung und Beschäftigung in Österreich zeigt eine im Auftrag des Bundeskanzleramts durchgeführte Studie (Streissler-Führer 2016). Eine offensichtliche, aber dennoch noch kaum thematisierte oder realisierte Option, der Wirtschaft Anreize zu verstärkten Investitionen in Rationalisierungsmaßnahmen zu bieten, wäre es, den Faktor Arbeit angebotsmäßig einzuschränken. Solange es ein Überangebot an Arbeit gibt, bzw. eine Arbeitszeitverkürzung in Form von unfreiwilliger Arbeitslosigkeit stattfindet, wird sowohl der Druck auf das Lohnniveau erhalten bleiben als auch die Akzeptanz von Automatisierung als langfristig sinnvolle Strategie darunter leiden. Neben diesen, grundsätzlichen und verteilungspolitisch orientierten Optionen zur Förderung der Digitalisierung im Allgemeinen und der Robotik im Speziellen sind natürlich eine Reihe von spezifischen Maßnahmen vorstellbar oder notwendig, welche aber auch in spezifischen Studien vorbereitet oder begleitet werden sollten.

Veränderung der Arbeit

Bei der Substitution menschlicher Arbeit durch Automatisierung geht es nicht nur um Veränderungen im Beschäftigungsvolumen, auch die Struktur der Beschäftigung ist betroffen. Im Fertigungsbereich steht die Automatisierung der Arbeitswelt im starken Zusammenhang mit dem Konzept „Industrie 4.0“. Durch die breitflächige Einführung integrierter Produktionssysteme wird ein gravierender Wandel von Organisations- und Arbeitsstrukturen vorhergesagt. Besonders manuelle Tätigkeiten dürften, wie schon bislang, von der Automatisierung besonders betroffen sein. Auch wenn es zu neuen Berufsbildern kommt und neue Arbeitsplätze geschaffen werden können, so mögen sich diese jedoch in der Qualität der Beschäftigung unterscheiden, und folglich auch in den Anforderungen und im Qualifizierungsbedarf (Aichholzer et al. 2015, S. 25-26).

*Handlungsbedarf
durch strukturelle
Veränderungen*

Neben den Hinweisen auf die Bedrohung von Arbeitsplätzen wird auch dahingehend argumentiert, dass mit Unterstützung von Robotern ein längerer Verbleib am Arbeitsplatz möglich wird, da körperlich anstrengende und gefährliche Tätigkeiten übernommen werden (Granitza/Hauer 2017). Bezüglich der Aus- und Weiterbildung dürften höhere IKT-Kenntnisse, Bereitschaft zu lebenslangem Lernen, interdisziplinäres Arbeiten und Kommunikation mit Maschinen und vernetzten Systemen an Bedeutung gewinnen (Aichholzer et al. 2015, S. 28-30; Royakkers/van Est 2015, S. 554-555; Vallor 2011). Inwieweit bessere IKT-Kenntnisse generell und für größere Gruppen von Beschäftigten notwendig sein werden, ist aber zumindest zu hinterfragen. Während zweifelsfrei zumindest mittelfristig ein hoher Bedarf an entsprechend qualifizierten Arbeitskräften zu erwarten ist, wird gerade auch erwartet, dass zumindest mittelfristig ein beträchtlicher Teil von Programmieraufgaben ebenfalls automatisiert durchgeführt werden. Zudem sollen Programmierfähigkeiten durch Vormachen oder natürlichsprachliche Kommunikation ersetzt werden. Angesichts der großen Dynamik in diesem Bereich scheinen Bildungskonzepte, welche auf eine verbesserte Allgemeinbildung und Fähigkeiten zur kritischen Reflexion angesichts zunehmend automatisierter Umwelten, verbunden mit der Unterstützung lebenslangen Lernens, vielversprechender zu sein als Bemühungen zur unspezifischen und breiten Vermittlung von Spezialkenntnissen. Betroffen sind hier nicht nur Tätigkeiten in der Industrie, auch werden beispielsweise von Pflegekräften und PolizeibeamtInnen neue Kompetenzen verlangt, wobei immer darauf geachtet werden muss, welche Kompetenzen womöglich durch den Einsatz von Robotern verloren gehen könnten.

Aus- und Weiterbildung

1.5.2 Ethik

Roboter- und Maschinenethik

Asaro und Wallach (2017) setzen ihre Analyse der Roboter- und Maschinenethik zu ethischen Betrachtung von Robotern in den Science-Fiction-Erzählungen des frühen 20. Jahrhunderts in Beziehung. Sie stellen darin drei Betrachtungsweisen fest: 1) Roboter, die Amok laufen und Schaden verursachen, 2) Roboter als soziale Begleiter und 3) Roboter, die den Menschen auslöschen oder beherrschen wollen (Asaro/Wallach 2017, S. 3-4).

Asimovs Robotergesetze

In den frühen Werken waren Roboter stets negativ konnotiert, dies spiegelt sich auch in den Robotergesetzen von Isaac Asimov wider, die als Vorläufer der Roboterethik angesehen werden. Diese drei Gesetze, die Asimov 1942 entwickelte, sollen dem Gefährdungspotential des Roboters den Menschen gegenüber begegnen, indem sie Handlungen (oder Unterlassungen von Handlung), die Menschen zu Schaden kommen lassen, verbieten (erstes Gesetz), die Befehlsgewalt über den Roboter beim Menschen belassen (zweites Gesetz) und die Selbsterhaltung des Roboters gewährleisten (drittes Gesetz). Die Gesetze sind hierarchisch strukturiert, d. h. das dritte Gesetz darf nur befolgt werden, solange die ersten zwei Gesetze dadurch nicht verletzt werden. So einflussreich Asimovs Arbeiten für die ersten ethischen Betrachtungen waren, stellen sie zwar eine angesichts der Forschungen im Bereich Militärrobotik weiterhin und zunehmend relevante Basis dar, jedoch keine ausreichende und effektive Grundlage für das Design von Robotern im Allgemeinen (Clarke 1993; Clarke 1994).

Maschinen- und Roboterethik

In den 1980er Jahren entwickelten sich aus angrenzenden Disziplinen (wie z. B. der Bio- oder Nanoethik) die Maschinen- und die Roboterethik. Dabei befasst sich die Roboterethik (im Englischen auch Roboethics) mit der Frage, wie Menschen Roboter gestalten, nutzen und behandeln sollen, während die Maschinenethik der Frage nachgeht, welche Folgen es hat, wenn Roboter in der Lage sind, moralische Entscheidungen zu treffen. Innerhalb dieser beiden Betrachtungsweisen geht es um Fragen der Kontrolle von Robotern, um Versuche, ethische Systeme durch die Übertragung auf Roboter besser zu verstehen, um Fragen nach der moralischen Handlungsfähigkeit und um Fragen des Designs von moralisch fehlerfreien Systemen (Asaro/Wallach 2017).

Ethik der Roboter

Veruggio, Solis und Van der Loos (2011) differenzieren die Schnittstelle von Ethik und Robotik auf drei Ebenen: Die erste Ebene stimmt mit dem überein, was Asaro und Wallach unter Roboethics verstehen, nämlich die ethische Betrachtung von Problemen, die durch die Fortschritte im Bereich der Robotik ausgelöst wurden. Auf der zweiten Ebene sehen sie die Maschinenethik, worunter sie die Betrachtung der in Roboter implementierten Ethiken verstehen. Die dritte Ebene, die sie als Ethik der Roboter bezeichnen, entsteht, wenn ein hypothetischer Roboter in der Lage sein wird, eine eigene Moralität und somit eine eigene Ethik zu entwickeln.

Autonomie

In der Diskussion um Roboter bzw. roboterbasierten Systemen ist im Zusammenhang mit ethischen Fragestellungen mit Autonomie nicht die Autonomie der Maschinen gemeint, sondern die der Menschen, die selbst entscheiden können sollen, inwieweit sie Dienste von Robotern in Anspruch nehmen oder Kooperationen mit ihnen eingehen wollen. Im privaten Bereich ist die Transparenz bzw. das Wissen darüber, wie Roboter „funktionieren“, zentral, um rationale Entscheidungen treffen zu können. In vielen anderen Bereichen werden eventuell auch gesetzliche oder institutionelle Regelungen notwendig sein: Kann man zum Beispiel im beruflichen Kontext die Zusammenarbeit mit einem Roboter ablehnen, oder kann man darauf bestehen, dass beispielsweise eine medizinische Behandlung oder Pflegetätigkeit von Robotern durchgeführt wird oder umgekehrt die Betreuung durch Roboter generell ablehnen?

Entscheidung über die Nutzung von Robotern

Beispiel Pflege

Die demographische Entwicklung in Österreich lässt einen stark steigenden Bedarf an Pflegeleistungen erwarten, der möglicherweise auch den Ruf nach dem Einsatz von Pflegerobotern bei der häuslichen Pflege lauter werden lassen wird. Sharkey und Sharkey (2012) identifizieren folgende ethische Besorgnisse beim Einsatz von Pflegerobotern: die schon besprochene Reduktion von menschlichem Kontakt, das Empfinden von PflegeempfängerInnen, wie ein Objekt behandelt zu werden, Kontrollverlust der zu Pflegenden, Verlust der Privatsphäre, Verlust der individuellen Freiheit, Täuschung und Infantilisierung (Vallor 2011). Wobei anzumerken ist, dass viele der genannten Probleme unmittelbar mit altersbedingten Einschränkungen einhergehen und daher auch bei menschlichen PflegerInnen auftreten können.

Unter der Voraussetzung, dass die Bedürfnisse von PflegeempfängerInnen und vom Pflegepersonal im Design von Pflegerobotern und Assistenzsystemen berücksichtigt werden (siehe Royakkers/van Est 2015; van der Plas et al. 2010; Van Wynsberghe 2013), gibt es viele Möglichkeiten, Pflegeroboter in spezifischen Bereichen einzusetzen (Borenstein/Pearson 2010; Decker 2008; Royakkers/van Est 2015). Im Bereich der Pflege ist es von großer Bedeutung, alle Stakeholder wie Hausärzte/innen, Krankenhäuser, Pflegeheime, Gesundheitsbehörden, Versicherungsgesellschaften und vor allem Betroffene von Anfang an einzubeziehen (Royakkers/van Est 2015; Van Oost/Reed 2010).

Einbindung von Betroffenen zentral

Beispiel Prothesen

Risiko neuer Abhängigkeiten

Die Entwicklung von Prothesentechnologie wirft ethische Fragen auf, welche schon länger, insbesondere im Zusammenhang mit dem Konzept des Transhumanismus, diskutiert werden. Übersteigt die Funktionalität von Prothesen die der biologischen Körperteile, so ist es möglich, dass sich Individuen dafür entscheiden, gesundes Gewebe durch Prothesen zu ersetzen. Operationen, insbesondere Amputationen, sind nie ohne Risiken auszuführen, und mit steigender Komplexität der Prothesen (beispielsweise durch die Vernetzung mit dem Nervensystem) steigen auch mögliche Risiken. Technologie ist auch stets mit der Möglichkeit von Fehlfunktionen begleitet, die bei Prothesen, welche mit unserem Nervensystem verbunden sind, fatale Folgen haben könnten. Ebenso wird die Frage des Prothesenersatzes aufgeworfen, da eine Prothese nach einigen Jahren schon als veraltet gelten könnte. Insbesondere betrifft dies die Verfügbarkeit von Software-upgrades oder -updates, welche für ältere Modelle unter Umständen nicht mehr entwickelt oder bereitgestellt werden könnten. Zu bedenken sind die in diesem Zusammenhang entstehenden Abhängigkeiten von den Prothesenherstellern. Auch der Verlust unserer Menschlichkeit durch die Entfernung unserer Mängel wird thematisiert (Niman 2013).

Beispiel Therapie

Animation von DemenzpatientInnen

Neben dem Bereich Autismus werden bei der Betreuung und Therapie von dementen Personen große Erwartungen mit dem Einsatz von sozialen Robotern verbunden. Aktuelle Studien (siehe z. B. Chu et al. 2017) bestätigen diese Erwartungen. So wurde beobachtet, dass es beim Einsatz von „third generation“-Robotern zu positiven Interaktionen mit demenzerkrankten Menschen kam, mit der Folge, dass sich die sozialen Fähigkeiten der TeilnehmerInnen verbessert haben. Es konnten fast alle TeilnehmerInnen zu einer Gruppenaktivität (Bingo spielen) angeregt werden, wobei Gruppenaktivitäten im Bereich der Altersversorgung eine wichtige Rolle einnehmen. Ebenso konnten TeilnehmerInnen zum Lächeln bzw. Lachen gebracht und angeregt werden und dazu, mit anderen Menschen (und Robotern) in ihrer Umgebung zu interagieren. Besonders bei der Betreuung von Menschen mit Demenz wird jedoch befürchtet, dass diese Technologien eingesetzt werden könnten, um PatientInnen zu täuschen und menschlichen Kontakt zu reduzieren (Borenstein/Pearson 2010). Auch wird beim Einsatz von Puppen und Robotern für Demenzerkrankte darauf hingewiesen, dass dies mit einer Art Infantilisierung der Erkrankten einhergeht (Sharkey/Sharkey 2012, S. 26).

Beispiel Bewaffnete Systeme

Naturgemäß wird die Problematik bewaffneter Roboter, neben zukünftig möglichen Einsätzen als Polizeiroboter, insbesondere im militärischen Bereich diskutiert. Ein Ausgangspunkt dieser Diskussionen ist sicher die starke Zunahme von Drohneinsätzen durch die USA für gezielte Tötungen, wobei hier die Auswahl der Ziele als auch der Befehl zum Einsatz durch Menschen erfolgt, wenngleich diese Entscheidungen tausende Kilometer vom Einsatzort entfernt getroffen werden können. Diese Vorgangsweise wird grundsätzlich kritisiert, da die Einsätze unter Umgehung internationaler Rechtsnormen stattfinden; insbesondere werden hohe Kollateralschäden und Todesfälle von unbeteiligten Zivilisten thematisiert. Tatsächliche Zahlen sind dabei schwer zu ermitteln (Shane 2011), die angegebenen Prozentzahlen schwanken je nach Quelle zwischen 10 % und 98 % (Bergen/Tiedemann 2010).

Gezielte Tötungen durch Drohnen

Die in Zusammenhang mit diesem Bericht wichtigere Frage betrifft aber die Bewaffnung von autonom agierenden Robotern und damit die ethischen Konsequenzen von Maschinen, die direkt über Leben oder Tod entscheiden können. Human Rights Watch spricht von einer grundsätzlichen Unmöglichkeit, dass völlig autonome Militärroboter internationalen humanitären Rechtsnormen entsprechen können (Human Rights Watch 2012). Human Rights Watch hat im Jahr 2016 gemeinsam mit weiteren NGOs eine Kampagne zum Verbot von Killerrobotern gestartet und ein Memorandum an die Delegierten der UN-Waffenkonvention veröffentlicht (Human Rights Watch 2016). Andererseits wird beispielsweise durch Strawser (2010) argumentiert, dass der Einsatz von Militärrobotern wie Drohnen sogar ethisch obligatorisch ist, da es um die Verringerung des Risikos von Militärpersonal geht (Strawser 2010). Darüber hinaus werden auch Meinungen vertreten, dass in der Zukunft Militärroboter sogar besser als menschliche Soldaten rationale und ethische Entscheidungen treffen können, da sie beispielsweise keinen Stress empfinden, und somit Racheakte und Folter verhindert werden (Royackers/van Est 2015; Singer 2009; Arkin 2007). Natürlich bestehen beim Einsatz ferngesteuerter, unbemannter Militärroboter Gefahren, und es wurde beobachtet, dass diese tendenziell schneller und häufiger eingesetzt werden. Diese Gefahren und Tendenzen könnten sich im Fall völlig automatisierter Militärroboter weiter verstärken und beschleunigen.

Ethische Kriegsführung?

Ungeachtet der ethischen und philosophischen Streitfrage, ob der Einsatz von autonomen Maschinen bewaffnete Konflikte „humaner“ machen kann, wird in diesem Fall ein Grundproblem autonomer Systeme, nämlich inwieweit die Menschheit Entscheidungskompetenzen an Roboter übergibt – genau genommen an die Künstliche Intelligenz, die sie steuert – auf drastische, nämlich letale Art und Weise verdeutlicht. Dieses Grundproblem tritt immer auf, wenn autonome Systeme Entscheidungen treffen; auf eine weniger drastische, aber potentiell immer noch letale Weise bei autonomen Fahrzeugen und auf eine weniger offensichtliche und bewusste Weise, wenn Algorithmen beeinflussen und zunehmend festlegen, welche Informationen wir bekommen, zu welchen Konditionen wir Geschäfte abschließen können oder welche medizinischen Behandlungen wir erhalten.

Übertragung von Entscheidungen

1.5.3 Recht

Generelle Leitlinien

Resolution des Europäischen Parlaments

In den letzten Jahren sind auf Ebene der Europäischen Union vielfache Aktivitäten zu verzeichnen, welche darauf abzielen, die im Wesentlichen aus der biologischen und medizinischen Forschung resultierenden Ethikprinzipien einerseits so zu erweitern, dass sie als generell anwendbare Leitlinien für von der EU geförderte Forschung und Entwicklung dienen können. Andererseits sind gerade in jüngster Zeit politische Initiativen und wissenschaftliche Projekte damit beschäftigt, ethische Prinzipien und die Charta der Grundrechte der Europäischen Union in Hinblick auf Herausforderungen der Robotik zu spezifizieren und in konkrete rechtliche Akte zu gießen. Dazu zählen die Resolution des Europäischen Parlaments zu zivilrechtlichen Fragen der Robotik (European Parliament 2017) und die dazugehörige Studie (Nevejans 2016) oder etwa das FP7 RoboLaw-Projekt²².

Agentur für Robotik

Zu den zentralen Forderungen der Resolution des Europäischen Parlaments an die Europäische Kommission zählt die Errichtung einer Agentur für Robotik und als Teil einer Robotikcharta die Etablierung eines „Ethischen Code of Conduct“ für Roboter-ingenieure und für Ethikkomitees sowie Vergabe von Lizenzen für Designer und Nutzer von Robotern. Die Resolution enthält eine Reihe weiterer Forderungen, die sicher zu kontroversiellen ethischen, rechtlichen und wissenschaftlichen Debatten führen wird. Sie spiegelt die gesellschaftliche Brisanz wider, welche die technische Entwicklung bei der (mechanischen) Robotik in Kombination mit Künstlicher Intelligenz in sich birgt.

Im RoboLaw-Projekt wird auf die zentrale Bedeutung eines transparenten regulativen Umfelds für die Robotik als Sektor mit strategischer Bedeutung für die europäische Wirtschaft hingewiesen. Während sehr unterschiedliche Faktoren die Entwicklung der Robotik beeinflussen, sind doch viele von ihnen tief im Rechtssystem verwurzelt. Welche Ideen weiterentwickelt werden, welche Produkte in der realen Umwelt getestet und eventuell auch in den Markt eingeführt werden, hängt entscheidend auch von den rechtlichen Rahmenbedingungen, und den ethischen Prinzipien, die in ihnen wiedergespiegelt werden, ab. Und damit auch, welche Funktionen und Rollen Roboter in zukünftigen Gesellschaften übernehmen und spielen werden.

Eigener rechtlicher Status?

Zu den offenen Fragen zählt, inwieweit die autonome Robotik, besonderer Regelungen in Form eines eigenen rechtlichen Status bedarf oder ob die Anwendung bestehender Rechtsnormen oder Rechtsformen ausreichend ist. Der Ethik wird eine dreifache Rolle zugeschrieben. Sie formt die sozialen Erwartungen bezüglich emergierender Technologien, sie kann in das Design dieser Technologien integriert sein und sie ist für die Entwicklung einer Kultur des Umgangs mit solchen Technologien mitverantwortlich. Weitere wichtige Themen, die in diesem Projekt angesprochen wurden,

²² Vgl. roboLaw.eu/ (zuletzt abgerufen am 12.05.17).

betreffen das Verhältnis von Robotik zu menschlichen Fähigkeiten und Schwächen und damit zusammenhängend offene Fragen des „human enhancements“. Als weiteres wichtiges Thema werden die Möglichkeiten diskutiert, die technische Entwicklung und den Einsatz von Robotern durch Haftungsregelungen in erwünschte Bahnen lenken zu können (Palmerini et al. 2014).

Haftung

Die Frage der Haftung ist in vielen Bereichen noch ungelöst. Im Bereich der autonomen Fahrzeuge ist die Haftungsproblematik, neben den viel diskutierten Problemen der Festlegung von ethischen Prinzipien bei der Abwägung von Unfallfolgen und deren Umsetzung in Algorithmen zur Steuerung von solchen Fahrzeugen, eines der wichtigsten Hindernisse für eine generelle Zulassung solcher Fahrzeugen. Mit zunehmender Fähigkeit, zu lernen und dabei die Umgebung und gemachte Erfahrungen einzubeziehen, wird auch die Bestimmung der Verantwortlichkeit schwieriger. Und damit auch die Beantwortung der Frage, inwieweit Haftungsregelungen eine Grundlage für die Selbstregulierung der Robotik bilden können und in welchen Bereichen spezifische rechtliche Vorgaben notwendig sein werden.

*Weitgehend
noch ungelöst*

Datenschutz

Datenschutzfragen treten grundsätzlich bei allen Robotern auf, welche (personenbezogene) Umgebungsdaten aufnehmen können. Dazu gehören zum Beispiel auch neue Generationen von Staubsaugerrobotern, welche oft Kameras oder Laser-Scanner verwenden, um sich zu orientieren und Hindernissen auszuweichen. Die dabei erfassten Daten können sowohl Informationen über die Wohnungsausstattung als auch über anwesende Personen enthalten. Aus Datenschutzsicht problematisch können diese Sensoren werden, falls auf die normalerweise nur intern verarbeiteten Daten von außen zugegriffen werden kann. Im Falle von Staubsaugerrobotern, die extern über Apps oder das Internet gesteuert werden können, ist dies prinzipiell denkbar. Dieses eher banale Beispiel einer Roboteranwendung zeigt deutlich, dass die Robotik eine Reihe von datenschutzrechtlichen Fragen aufwirft: Welche Informationen werden konkret gesammelt? Wer erhält diese Informationen? Welche Rückschlüsse könnten aus diesen Daten über die betroffene Person oder einen Haushalt getroffen werden? Wie lange werden diese Daten gespeichert? Inwieweit ist es den Betroffenen bewusst, dass Daten gesammelt werden (insbesondere, aber nicht nur in Fällen von Demenz im Pflegebereich)? Wieviel Kontrolle und Autonomie haben Individuen bezüglich der gesammelten Daten (Borenstein/Pearson 2010, S. 282; Royakkers/van Est 2015, S. 553-554)? Dies sind nicht nur Fragen für Regulatoren, auch Entwickler müssen sich mit diesen Fragen auseinandersetzen, und zwar schon zu Beginn des Design-Prozesses (Royakkers/van Est 2015, S. 553-554). Beispielsweise befassen sich Fernandes et al. (2016) mit der Erkennung von schambesetzten Situationen durch soziale Roboter in Smart Home Umgebungen. Basierend

*Welche Daten
werden erfasst*

auf „Convolutional Neural Networks“, einer spezifischen Form des maschinellen Lernens, sollen Roboter die Intimsphäre von Menschen schonen können, indem sie beispielsweise den Akt des Umkleidens durch ein Erkennungssystem von Nacktheit identifizieren und sich entsprechend (bzw. ihre Kameras) abwenden.

Transparenz

Rechtliche und technische Herausforderung

Mit zunehmenden Möglichkeiten von Robotern, außerhalb von abgeschirmten Bereichen zu arbeiten und autonom Tätigkeiten zu verrichten und damit auch Entscheidungen zu treffen, wird auch die Herstellung von Transparenz über eben diese Entscheidungen zu einer zentralen Herausforderung. Transparenz ist insofern von grundlegender Bedeutung, als von ihr auch Fragen der menschlichen Autonomie, des Datenschutzes oder der Haftung abhängen. Die Herstellung von Transparenz ist in mehrfacher Hinsicht eine Herausforderung. Einerseits beeinflussen die angewendeten Algorithmen in wesentlicher Weise die Qualität der Ergebnisse und stellen somit wohlgehütete Betriebsgeheimnisse dar, andererseits entziehen sich bei selbstlernenden Systemen die verbesserten Entscheidungsmechanismen selbst einer (direkten) Beobachtung und somit auch Beeinflussung. Maßnahmen zur Verbesserung der Transparenz umfassen daher einerseits rechtliche Vorgaben, welche den Zugang zu vorhandenen Informationen Regeln sollen, andererseits auch (technische) Vorkehrungen, um eine Transparenz grundsätzlich zu ermöglichen. Die zweite Herausforderung betrifft vor allem selbstlernende Systeme, bei denen Entscheidungen nicht mehr auf Basis von vorprogrammierten Algorithmen erfolgen.

Beispiel Autonomes Fahren

Die Entwicklung selbstfahrender Autos ist weit fortgeschritten und es wird der Eindruck erweckt, dass es aus technischer Sicht kaum zwingende Gründe gäbe, mit einer kommerziellen Einführung noch länger zuzuwarten. Es wird daher oft ein dringender Bedarf geäußert, Gesetze und internationale Verträge in Hinsicht auf autonome Fahrzeuge zu ändern, derzeit wird beispielsweise immer von einem steuernden bzw. überwachenden Menschen als Zulassungsvoraussetzung ausgegangen. Diese regulative Hürde wird als eines des größten Hindernisses für autonome Fahrzeuge genannt. In Österreich wurde schon 2014 das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr ergänzt, um Testfahrten, allerdings stets mit LenkerIn im Fahrzeug, zu ermöglichen (Krieger-Lamina/Peissl 2016). Im Aktionsplan Automatisiertes Fahren des BMVIT (2016) ist eine Reihe von Maßnahmen vorgesehen, mit denen diese Technologie in ein effizientes und umweltfreundliches Verkehrssystem integriert werden soll.

1.5.4 Soziales

Finanzierung des Sozialsystems

Die möglichen Konsequenzen der Robotik bzw. der Digitalisierung im Allgemeinen für den Arbeitsmarkt werden aufgrund ihrer zentralen Rolle in einem eigenen Abschnitt 1.5.1 diskutiert. Da derzeit an Lohneinkommen gebundene Steuern und Abgaben die wichtigste Komponente der Finanzierung des Staatshaushalts und damit auch des Sozialsystems sind, wirkt sich die Substitution von menschlicher Arbeit durch Roboter unmittelbar auf die Finanzierbarkeit des Sozialsystems aus. Ohne Gegenmaßnahmen sind tendenziell sinkende Einnahmen mit steigenden Ausgaben konfrontiert. Wenngleich die in der öffentlichen Debatte oft genannte „Robotersteuer“ irreführend ist (es wird derzeit auch nicht von Arbeiter- oder Angestelltensteuer gesprochen), scheinen Überlegungen, die auf eine Verbreiterung der Steuerbasis abzielen, zur langfristigen Finanzierung der sozialen Sicherheit unumgänglich zu sein.

*Verbreiterung
der Steuerbasis*

Soziale Beziehungen

Die Tendenz von Menschen zum Anthropomorphismus führt zu einigen Besorgnissen bezüglich der emotionalen Entwicklung. Wie bereits in Kapitel 1.2.4 erwähnt, konnten Melson et al. (2009) sowie Tanaka et al. (2007) feststellen, dass Menschen dazu neigen, Robotern Emotionen und Moral zuzuschreiben, und sogar glauben, Freundschaften mit Robotern schließen zu können. Die Fähigkeit von Robotern, Emotionen in Menschen hervorzurufen, könnte dementsprechend einen großen Einfluss auch auf die Natur und Qualität zwischenmenschlicher Beziehungen haben.

*Zuschreibung
menschlicher
Eigenschaften*

In Südkorea und Japan wird an der Idee leistungsfähiger Roboter-Nannies gearbeitet, welche zurzeit die Fähigkeiten haben, Sprache und Gesichter zu erkennen und Spiele mit den Kindern zu spielen. In diesem Zusammenhang drängt sich natürlich die Frage nach den Auswirkungen auf die soziale und emotionale Entwicklung von durch Roboter betreuten Kindern auf (Sharkey/Sharkey 2010)²³. Eine naheliegende Annahme geht davon aus, dass es bei zu geringer Interaktion mit Menschen und zu hoher Interaktion mit den Robotern zu Bindungsschwierigkeiten kommen könnte, da es sich eben nicht um reale soziale Interaktionen handelt. Es werden von den Maschinen zwar emotionale Verhaltensweisen gezeigt, diese sind jedoch nur Nachahmungen. Fraglich bleibt, ob Menschen bei verfeinerten Modellen von sozialen Robotern überhaupt den Unterschied noch erkennen können. Ebenso gibt es die Sorge, dass Menschen sich immer weiter

*Beispiel
Roboter-Nannies*

²³ Schon 2008 gab es für \$ 6.299,99 den „Hello Kitty Robo“ zu kaufen, der mit folgender Beschreibung beworben wurde: „This is a perfect robot for whoever does not have a lot of time to stay with child. Hello Kitty Robo can help you to stay with your child to keep them from being lonely“. Vgl.: [web.archive.org/web/20080219195452/http://www.dreamkitty.com/Merchant2/merchant.mvc?Screen=PROD&Product_Code=K-EM070605&Category_Code=HKDL](http://www.dreamkitty.com/Merchant2/merchant.mvc?Screen=PROD&Product_Code=K-EM070605&Category_Code=HKDL) (zuletzt abgerufen am 17.05.17).

in die soziale Isolation zurückziehen könnten, da man womöglich schon vom Kindesalter an reibungslose „Freundschaften“ mit konfliktlosen Robotern gewöhnt ist, und man keine Erfahrungen im Umgang mit anderen, komplex reagierenden und keineswegs perfekten, Menschen hat (Turkle 2006). Soziale Auswirkungen von Robotern auf Menschen sind jedoch zu diesem Zeitpunkt noch weitgehend unerforscht (Royakkers/van Est 2015).

Beispiel Sexroboter

Auch Sexroboter stellen uns vor neuen Herausforderungen. Die Sorge der sozialen Isolation und der Gewöhnung an „perfekte“, unkomplizierte Beziehungen mit Robotern betrifft sowohl sexuelle, als auch romantische Beziehungen. Turkle (2006) schildert die Beziehung mit Robotern als frei von Risiko und Forderungen. Gewöhnt man sich an diesen Zustand, so könne eine Beziehung mit einem echten Menschen überfordernd wirken. Es werden auch Erwartungen geäußert, dass Sexroboter das Bedürfnis nach illegalen oder tabuisierten sexuellen Handlungen ohne Missbrauch und Verletzung von Menschenrechten stillen könnten, man denke beispielsweise an Pädophilie, Sex-Sklaverei oder Menschenhandel. Sexroboter könnten womöglich eine Alternative zu menschlicher Prostitution bieten. Forschungsergebnisse sind in diesem Bereich noch nicht vorhanden, eine Zukunft mit Sexrobotern im Bereich der Sexarbeit wird jedoch als möglich erachtet. Dabei werden schwierige ethische Fragen aufgeworfen, zum Beispiel wie mit Sexrobotern in Kindesgestalt umzugehen ist, ob hier eine Subkultur gefördert werden würde und wie diese sich auf den sexuellen Missbrauch von Kindern auswirken würde (Royakkers/van Est 2015).

Beispiel Pflegeroboter

Im Pflegebereich ist die Interaktion mit menschlichem Personal anstelle von Robotern für die Betroffenen möglicherweise keine Wahl und Betroffene haben nur begrenzt, wenn überhaupt, die Möglichkeit aktiv menschlichen Kontakt aufzusuchen. Zu den größten Sorgen bezüglich Pflegeroboter zählt demnach die Angst, dass in Folge menschliche Interaktionen und menschliche Kontakte abnehmen (Royakkers/van Est 2015; Sparrow/Sparrow 2006).

Akzeptanz

Um eine erfolgreiche Markteinführung zu erlauben, muss die Öffentlichkeit überzeugt sein, dass die Systeme effektiv und sicher sind, und es soll die Möglichkeit bestehen, die Systeme bei Bedarf auszuschalten (Royakkers/van Est 2015). Ebenso müssen die Voraussetzungen für eine effiziente und gerechte Verteilung der Vor- und Nachteile geschaffen werden und Wahlmöglichkeiten grundsätzlich erhalten bleiben.

Akzeptanz im Gesundheitswesen

Laut einer Studie von Louie, McColl und Nejat (2014) scheint die Akzeptanz menschenähnlicher sozialer Roboter als Assistenztechnologie bei älteren Erwachsenen mit höherer Bildung (TeilnehmerInnen der in Kanada durchgeführten Studie waren überwiegend weiblich, im Alter von 62 bis 91 Jahren und hatten mindestens einen Bachelor-Abschluss) relativ hoch zu sein. Getestet wurde dies anhand von Feedback nach einer Interaktion mit dem Roboter Brian 2.1, ein Roboter-Modell mit menschenähnlicher Stimme, Gesichtsausdrücken und verschiedenen Tonlagen der Stimme (Louie et al. 2014, S. 148). Hansson (2007) weist darauf hin, dass die

Technologien im Pflegebereich abgelehnt werden könnten, wenn Menschen das Gefühl haben, dass ihre Möglichkeiten mit anderen Menschen zu interagieren beschränkt werden, oder wenn sie glauben, dass die Technologie mehr Kontrolle über sie hat, als sie über die Technologie haben.

Betrachtet man die Akzeptanz von Robotern im gesamten Gesundheitswesen, so geben laut einer aktuellen PcW-Studie 55 % der Befragten an, dass sie sich für Tests, Diagnosen oder Empfehlungen einer Behandlung auch an einen Roboter mit künstlicher Intelligenz an Stelle eines Arztes wenden würden (Arnold/Wilson 2017). In Schwellenländern ist eine größere Bereitschaft dazu zu beobachten. Man geht von einer höheren Akzeptanz von Robotern und KI in Situationen aus, wenn davon ein verbesserter Zugang zum Gesundheitswesen erhofft wird. Wichtige Faktoren sind außerdem die Geschwindigkeit und Genauigkeit von Diagnose und Behandlungen sowie das Vertrauen in die Technik. Zur Skepsis tragen mangelndes Vertrauen in Entscheidungsfähigkeiten von Robotern sowie auch der fehlende menschliche Aspekt bei (Baumgartner 2017).

Wichtig ist stets, dass Roboter ergänzend eingesetzt werden, und nicht menschliche Beziehungen ersetzen. Man kommt immer wieder auf die Frage zurück, wie viel menschlicher Kontakt einem Menschen zusteht, und inwieweit den Wünschen der Betroffenen nachgegangen wird. Es ist schließlich durchaus auch denkbar, dass manche Menschen einen Pflegeroboter über eine menschliche Pflegekraft bevorzugen, da es ihnen unter Umständen ein erhöhtes Gefühl der Autonomie verleihen könnte (Royakkers/van Est 2015, S. 554). Ebenso könnte ein Roboter in schambesetzten Situationen bevorzugt werden (Manzeschke et al. 2013).

1.5.5 Security

Cyber-Security

Alle vernetzten Systeme, und damit auch Roboter, die zum Beispiel über Apps gesteuert werden können, sind der Gefahr von Hackerangriffen ausgesetzt. Neben den generellen damit verbundenen Risiken, wie zum Beispiel unbefugte Zugriffe auf Daten oder deren Manipulation, bergen Roboter weitere Gefahren in sich. Die Beweglichkeit von Robotern und deren Befähigung zu aktiven Handlungen könnte dazu genutzt werden, gezielt bestimmte Orte auszuspionieren oder schädliche Aktivitäten auszulösen, zum Beispiel wenn die Kontrolle über selbstfahrende Fahrzeug übernommen werden kann.

Polizeibereich

Polizeirobotik

Obwohl allgemein nicht davon ausgegangen wird, dass es in der nahen oder mittleren Zukunft zum Einsatz von bewaffneten autonomen Polizeirobotern kommen wird (Royakkers/van Est 2015), werfen bewaffnete Roboter auch im nicht-militärischen Bereich schwerwiegende ethische Fragen auf. Ausgehend von der Entwicklung von bewaffneten Systemen im militärischen Sektor wird sich über kurz oder lang auch die Frage stellen, inwieweit zum Beispiel mobile, polizeiliche Überwachungsroboter in Form von Drohnen mit Fähigkeiten ausgestattet werden sollen, im Ernstfall auch direkt eingreifen zu können, um z. B. keine Zeit zu verlieren. Und es mag möglicherweise auch die Zeitfrage sein, die bei der Debatte, ob solche Systeme autonom agieren können sollen, eine Rolle spielen wird, falls nicht auf Basis ethischer Überlegungen die Entwicklung von bewaffneten Robotern grundsätzlich abgelehnt wird.

Unfallvermeidung

Beispiel Autonomes Fahren

Große Hoffnungen bestehen darin, die Anzahl der Verkehrsunfälle, insbesondere solcher mit tödlichen Folgen, durch autonome Fahrzeuge zu reduzieren. Vorteile dieser Fahrzeuge liegen in der geringeren Reaktionszeit und höherer Wachsamkeit, sowie im Fehlen von Aggression und der Möglichkeit, betrunken oder unter Drogeneinfluss zu fahren (Krieger-Lamina/Peissl 2016; Royakkers/van Est 2015). Hoffnungen bestehen durch den Einsatz autonomer vernetzter Fahrzeuge auch in Richtung Klimaschutz. Eine berechtigte Sorge betrifft das sogenannte „de-skilling“, womit abnehmende Fähigkeiten, Autos ohne technische Unterstützung selbst lenken zu können, gemeint sind. Zudem ist anzunehmen, dass AutofahrerInnen, welche sich auf Fahrerassistenzsysteme verlassen, weniger aufmerksam sind.

2 Robotik in Österreich: ExpertInnen und Stakeholder

2.1 Aufbau und Struktur der Interviews

Im Zeitraum vom 25. April 2017 bis zum 11. Mai 2017 wurde der Erstkontakt zu 28 ExpertInnen von Universitäten/Fachhochschulen, weiteren Forschungseinrichtungen und aus der Wirtschaft hergestellt, davon wurden 13 aufgrund der initialen Internetrecherche kontaktiert, die restlichen 15 Personen aufgrund von Nennungen bei den Interviews.²⁴ Der Erstkontakt erfolgte per E-Mail, mit Informationen zur Studie und der Bitte um Rückmeldung für einen geeigneten Interviewtermin. Falls dies nicht möglich erschien, war eine Beantwortung per E-Mail ebenfalls möglich.

Von den 28 angefragten ExpertInnen waren 15 Personen (54 %) an ein Universitäts- oder Fachhochschulinstitut angegliedert, sieben Personen (25 %) repräsentierten eine andere Forschungseinrichtung und sechs Personen (21 %) kamen aus der Industrie. Die Frauenquote bei den angefragten ExpertInnen betrug 14 %, d. h. vier von ihnen waren weiblich. Bei den 17 durchgeführten Interviews bzw. erhaltenen Antworten lag diese Quote mit fünf Frauen bei 30 %.

*Demographie
der Befragten*

19 der angefragten ExpertInnen (68 %) meldeten sich nach unserem Erstkontakt zurück. Davon waren 17 ExpertInnen zu einem Interview bereit, jeweils eine Person war nicht interessiert bzw. verwies auf einen alternativen Kontakt in der eigenen Institution. Im Falle eines Telefoninterviews betrug die durchschnittlich Gesprächsdauer 17 Minuten. Wir stellten den ExpertInnen die folgenden drei inhaltlichen Fragen:

Interviewablauf

- Was sind die wichtigsten Entwicklungstrends und Anwendungsbereiche im Bereich der Robotik in den nächsten 5-10 Jahren?
- Was sind die wesentlichen Herausforderungen, die mit die Entwicklung und dem Einsatz von Robotern verbunden sind?
- Wo sehen Sie die Stärken Österreichs im Bereich Robotik? Gibt es Bereiche, in denen Ihrer Meinung nach ein besonderer Nachholbedarf besteht?

Außerdem fragten wir nach weiteren wichtigen AkteurlInnen des Netzwerks: „Können Sie mir bitte bis zu drei Personen oder Institutionen nennen, die für Sie zu den zentralen Akteuren im Bereich Robotik in Österreich zählen?“

Die Antworten der in der Tabelle 2 (auf der nächsten Seite) angeführten ExpertInnen²⁵ werden kumuliert in den folgenden Abschnitten dargestellt.

²⁴ Die Rückmeldungen erfolgten teilweise später. Die Interviewphase war Anfang Juni 2017 vollständig abgeschlossen.

²⁵ Es sind nur jene Personen inkludiert, die einer namentlichen Erwähnung zugestimmt haben.

Tabelle 2: Interviewte ExpertInnen

Name	Firma/Institut
Bettstetter, Christian	Institute of Networked and Embedded Systems, Uni Klagenfurt
Braumann, Johannes	Labor für Kreative Robotik, Kunstuniversität Linz
Brenner, Eugen	Forschungsbereich Smart Systems, TU Graz
Hofbaur, Michael	Institut für Robotik und Mechatronik, Joanneum Research Klagenfurt
Iarotska, Anna	Robo Wunderkind, Wien
Kugi, Andreas	Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, TU Wien
Lindinger, Christoper	Ars Electronica Futurelab, Linz
Mara, Martina	Ars Electronica Futurelab, Linz
Markl, Erich	Institut für Advanced Engineering Technologies, Technikum Wien
Müller, Andreas	Institut für Robotik, Uni Linz
Piater, Justus	Institute for Intelligent and Interactive Systems, Uni Innsbruck
Ranz, Fabian	Fraunhofer Austria, Wien
Ulrich, Sandra	KFV – Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien
Vincze, Markus	Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, TU Wien
Weiss, Astrid	Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, TU Wien
Wohlkinger, Walter	Blue Danube Robotics, Wien

2.2 Einschätzungen der ExpertInnen

2.2.1 Erwartete Entwicklungstrends der nächsten 5-10 Jahre

Einigkeit herrschte unter den befragten ExpertInnen darüber, dass die Geschwindigkeit der Entwicklung unklar ist und, dass deshalb keine exakten Prognosen für einen bestimmten Zeithorizont möglich sind. Außerdem verlaufe die Entwicklung evolutionär, sodass keine großen Revolutionen zu erwarten seien. Es wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass die Forschung dem kommerziellen Stand immer weiter voraus sein muss. Die großen Themen im Bereich der Forschung werden in der Sensorik (z. B. Kraftsensitivität und Erfassung visueller und auditiver Information) und der Algorithmik (insb. Echtzeitberechnung) gesehen.

Künstliche Intelligenz

Vereinzelt wurde auch Kritik am Begriff der künstlichen Intelligenz geübt: Da es unklar ist, was mit dem Begriff der Intelligenz gemeint ist, können wir künstliche Intelligenz nicht erschaffen. Folglich werden Computer nie denken können. Dies wurde von anderer Seite dadurch ergänzt, dass einzelne Spezialbereiche gut zu überblicken seien und Roboter daher wiederkehrende Tätigkeiten mit einer begrenzten Anzahl von Einflussgrößen übernehmen werden. Es wurde aber auch auf die grundsätzliche Bedeutung des maschinellen Lernens für die Weiterentwicklung der Robotik hingewiesen. Dadurch sollen „intuitive“ Interaktionen zwischen Mensch und Robotern ermöglicht werden.

Als zentraler Baustein auf dem Weg zur Autonomie von Robotern wurde die Teilautonomie genannt, wie sie seit einigen Jahren in der Fahrzeugtechnik vorangetrieben wird. So können beispielsweise heute existierende Assistenzsysteme, welche Teile des autonomen Fahrens übernehmen, auch in anderen Gebieten sinnvoll eingesetzt werden. Der Bereich des autonomen Fahrens wurde von den befragten ExpertInnen als entscheidender Trend im Zeitraum der nächsten Jahre angesehen. In diesem Kontext wurde auch auf die Lobbyarbeit aufmerksam gemacht, die für eine schnelle Einführung z. B. im Taxigeschäft und Warentransport eintritt.

Teilautonomie

Neben dem autonomen Fahren wurde auch auf das autonome Fliegen verwiesen. Auch hier liegt ein erwarteter Schwerpunkt im Bereich der Logistik. Dieser wurde von einer Mehrheit als entwicklungsstarker Bereich der Robotik wahrgenommen. Erste Umsetzungen des autonomen Fahrens und Fliegens werden vor allem als Lieferroboter für die Auslieferung beim Kunden erwartet.

Logistik

Als dominierender Anwendungsbereich von Robotik in den nächsten Jahren wurde von allen befragten ExpertInnen der Industriebereich identifiziert. Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ erwarten sie eine weitere Automatisierung in diesem Bereich. Wichtig für den erfolgreichen Einsatz von Robotern scheint dabei die erhöhte Flexibilität der Maschinen zu sein. Da KMUs vermehrt Interesse an Robotik zeigen, wird eine Entwicklung dahingehend erwartet, dass vermehrt einfach umprogrammierbare Roboter entwickelt werden. Dazu wurde mehrheitlich auf den Trend der Mensch-Maschine-Kooperation und den damit verbundenen Änderungen in den Betriebsabläufen hingewiesen: Schutzzäune werden wegfallen und Roboter werden immer stärker als hochflexible Werkzeuge auch für kleine Losgrößen gesehen. Dazu ist laut vielen ExpertInnen erforderlich, dass der Robotereinsatz vereinfacht wird, und somit keine spezifische Fachkenntnis mehr notwendig ist, sondern ein normales Anwendungswissen ausreichend für den erfolgreichen Umgang ist.

Industrie

Neben dem Einsatz in der Fabrikhalle, werden auch Roboter auf der Baustelle und in der Landwirtschaft erwartet. Da in beiden Bereichen Schwierigkeiten bestehen, Personal zu finden, es gleichzeitig aber großen Bedarf in der Bau- und Landwirtschaft gibt, wurde auf den großen potentiellen Markt hingewiesen. Es gehe dabei aber nicht darum menschlicher Arbeitskräfte zu ersetzen, sondern um die Ergänzung dort, wo Menschen nicht arbeiten wollen.

*Bauwesen und
Landwirtschaft*

Darüber hinaus wurden Erwartungen geäußert, dass in den Bereichen Gebäudeverwaltung und -reinigung, Sicherheit und der Medizin Roboter vermehrt eingesetzt werden. Im Bereich der Medizin wurde vor allem auf die Rehabilitation (insbesondere durch Exoskelette) hingewiesen.

*Weitere kommerzielle
Bereiche*

Auch im Konsumentenbereich wurde der Robotik von einer Mehrheit der ExpertInnen ein großes Wachstum prognostiziert. Dabei geht es nicht um den humanoiden Haushaltassistenten, der von vielen Menschen erwartet wird, sondern um erste Helfer, die mehr können, als nur staubzusaugen.

Konsumentenbereich

Außerdem wird eine (Weiter-)Entwicklung von Kommunikationsassistenten (wie beispielsweise Alexa von Amazon) erwartet, teilweise wurde in diesem Kontext auch von „companion robots“ gesprochen.

2.2.2 Mit den erwarteten Entwicklungen verbundene Herausforderungen

<i>Technische und wirtschaftliche Herausforderungen</i>	Die ExpertInnen waren sich darüber einig, dass es zunächst noch große technische und damit verbundene wirtschaftliche Herausforderungen zu lösen gilt. Die Problembereiche, die am häufigsten genannt wurden, umfassen visuelle und taktile Wahrnehmung, Spracherkennung, Geschicklichkeit, sowie User-Interfaces. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass neue Entwicklungen auch kostenmäßig vertretbar sein müssen. In diesem Zusammenhang wurde betont, dass Wirtschaftsbedingungen nicht den Laborbedingungen entsprechen, d. h. dass Roboter, die einmalig für ein Labor angeschafft werden, teurer sind (und auch sein können), als es in der Wirtschaft der Fall ist. Dieser Unterschied müsse beachtet werden, wenn eine Verbreitung eines Systems erfolgreich sein soll. Auch auf einen Wegfall von Arbeitsplätzen, der durch die Robotik ausgelöst wird, wurde aufmerksam gemacht. Dabei wurden vor allem die sozialen Auswirkungen dieses Wegfalls betont. Eine weitere Herausforderung im wirtschaftlichen Bereich wird in der Ausbildung gesehen: Einerseits wurde auf die Notwendigkeit einer besonderen Qualifikation der Arbeitnehmer hingewiesen, andererseits wurde ein Mangel an innovativen, auf Robotik fokussierten Studienprogrammen festgestellt.
<i>Rechtliche Bedingungen</i>	Im Hinblick auf rechtliche Regelungen bestand unter den ExpertInnen der Konsens, dass eine Abwägung zwischen „zu früh“ und „zu spät“ stattfinden muss: Einerseits wurde das europäische Modell ²⁶ grundsätzlich positiv bewertet, andererseits wurde kritisiert, dass der rechtliche Rahmen den technischen Entwicklungen nicht schnell genug anpasst wird. Eine oft genannte Einschätzung besagt, dass momentan technisch mehr möglich sei, als durch rechtliche Regelungen abgedeckt sei. Die derzeitigen Regelungen der EU und vor allem deren derzeitige Überarbeitung wurden aber positiv bewertet. Außerdem waren sich die Befragten einig, dass die rechtlichen Grundlagen möglichst bald geklärt werden müssen. Ergänzend dazu kam der Wunsch nach besseren technoökonomischen Visionen (insbesondere nach ausdifferenzierten Förderprogrammen) auf.
<i>Sicherheit</i>	Eine große Sorge der ExpertInnen betrifft die Sicherheit. Vor allem im Hinblick auf die Mensch-Maschine-Kollaboration wurden vermehrt Sicherheitsbedenken geäußert, da diese Systeme immer komplizierter werden und dabei immer näher mit den Menschen zusammenarbeiten müssen. Auch

²⁶ Das europäische Modell sieht vor, dass zunächst Rahmenbedingungen überlegt werden, die anschließend technisch ausgefüllt werden. Im Unterschied dazu sieht das amerikanische Modell vor, das zunächst technische Entwicklungen umgesetzt werden und anschließend die Rahmenbedingungen überdacht werden.

im Konsumentenbereich stellt die Sicherheit der Systeme ein wichtiges Thema dar. So wurden Sorgen geäußert, dass durch eine Verletzung, die durch einen Roboter herbeigeführt wurde, die ganze Robotik Schaden nehmen könnte. Unter den Schlagworten Safety und Security wurde auch die Frage gestellt, was ein Roboter tun dürfen sollte und welche Aspekte eventuell nie durch Roboter abgedeckt werden sollten. Dabei spielt auch die Vorhersagbarkeit von Maschinenverhalten sowie die Robustheit und Zuverlässigkeit in alltäglichen Umgebungen eine große Rolle.

Die Mehrheit der Befragten sieht die gesellschaftliche Akzeptanz als die größte Herausforderung. In der Bevölkerung, also bei potentiellen NutzerInnen, sehen sie falsche Erwartungshaltungen, sowie ökonomische, aber auch ethische Ängste und Vorbehalte Robotern gegenüber. Diese dürfen aber nicht ignoriert werden, sondern sie müssen ernstgenommen und ergründet werden und die Entwicklung (und das Design) der Roboter muss entsprechend angepasst werden. Unter dem Stichwort „informed trust“ lassen sich Anregungen zusammenfassen, dass RobotikerInnen Aufklärungsarbeit zu leisten haben: Der Kommunikation, was Robotik wirklich leisten kann und will, der Öffentlichkeits- und Pressearbeit, sowie der Ausbildung und Wissensvermittlung in den Schulen wurde große Bedeutung beigegeben. Auch für diesen Bereich wurde der Wunsch nach besserer und umfassenderer Förderung genannt. Neben dieser Eigenverantwortung wurde auch die Presse in die Pflicht genommen, indem Journalisten eine gewisse Verpflichtung zugesprochen wurde, neutral und nicht sensationistisch über Robotik zu berichten. Es wurde auch davon gesprochen, diese Akzeptanzfragen in Fragen nach einem Gesellschaftsmodell der Zukunft zu integrieren.

*Gesellschaftliche
Akzeptanz*

Neben diesen wahrgenommenen Herausforderungen gab es auch die Meinung, dass die Ethik für Roboter (noch) nicht die richtige Betrachtungsweise darstellt, da die aktuellen Möglichkeiten der „künstlichen Intelligenz“ so begrenzt sind, dass nur triviale Aufgaben gelöst werden können. Roboter, die ethisch betrachtet werden müssten, lägen demnach so weit in der Zukunft, dass eine heute Beschäftigung mit diesem Thema nicht relevant sei, da heutige Roboter immer noch „nur“ Maschinen seien. Im Widerspruch zu dieser Ansicht wurden Antworten auf ethische Fragen, im Zusammenhang mit Information und Aufklärung, als zentrale Herausforderung für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz genannt.

*Uneinigkeit zu
ethischen Überlegungen*

Vereinzelt wurde auch die über rein technische Betrachtungen notwendige Berücksichtigung der Komplexität von multiplen Schnittstellen (Mensch-Maschine, Maschine-Maschine) soziotechnischer Systeme ins Spiel gebracht. Dabei geht es darum, die mehrdimensionalen Auswirkungen durch den Einsatz von Robotern wie Zeit, Kosten, Qualität, Ergonomie, Organisation, Motivation/Zufriedenheit, Wissen, Flexibilität etc. zu berücksichtigen. Wichtig wäre es Methoden zur Planung und Umsetzung von solchen soziotechnischen Systemen zu entwickeln und zu verbessern, um die Vielzahl an Faktoren im Vorhinein berücksichtigen zu können.

*Bewältigung
der Komplexität*

2.2.3 Stärken und Nachholbedarf aus Sicht der befragten ExpertInnen

Stärken der Robotik Auf die Frage nach den Stärken Österreichs im Bereich Robotik wurden sehr verschiedene und vielfältige Antworten genannt, es gibt keinen Aspekt, den alle Befragten als Stärke empfinden. Im universitären Bereich wurden vor allem die individuellen Leistungen einzelner Institute betont, viele Forschungseinrichtungen liefern hervorragende Ergebnisse. Als Bereiche mit besonderer Kompetenz wurde maschinelles Sehen (Computer bzw. Robot Vision), maschinelles Greifen (Grasping) oder Navigation erwähnt. Auch die AbsolventInnen und die Situation in der Lehre wurden vereinzelt hervorgehoben.

Nicht nur die universitären, sondern auch die außeruniversitären Forschungseinrichtungen wurden positiv erwähnt. Beide Bereiche zusammen liefern Speziallösungen für österreichische KMUs. Insbesondere die Kooperationen mit KMUs und das Interesse und die Innovationsfreudigkeit dieser wurden mehrfach gelobt. Das gute Innovationsökosystem und die vielen kleinen Firmen (teilweise auch Start Ups) wurden ebenfalls als Stärke genannt. Auch das System von Höheren Technischen Lehranstalten, Fachhochschulen und technischen Universitäten sowie privaten Instituten und herstellergetriebenen Initiativen wurde als grundsätzlich gute Basis für die Aus- und Fortbildung erwähnt.

Gute Vernetzung auch mit deutschen Firmen

Neben diesen österreichischen Firmen kamen auch erfolgreichen Kooperationen mit ausländischen Unternehmen zur Sprache. Diese gute Vernetzung (insbesondere wurde die Nähe zu deutschen Firmen herausgestellt) und die geographisch vorteilhafte Lage mitten in Europa bilden die Grundlage für erfolgreiche Kooperationen und hier vor allem bei der weiteren Verbesserung bestehender Robotikprojekte.

Einzelne Antworten wiesen auf die GMAR als vorbildliche Bündelung der österreichischen Aktivitäten und auf Industrierobotik als thematische Stärke hin.

Bereiche mit Nachholbedarf

Auch bei der Frage, in welchen Bereichen noch Nachholbedarf gesehen wird, gab es keine einheitliche Meinung. Zu den genannten Forderungen zählen eine stärkere Förderung der Ausbildung und zusätzliche Forschungsmittel. Ein Interviewpartner nannte fehlende wissenschaftliche Exzellenz als Herausforderung, für den universitären Bereich wurde auf das Fehlen eines Universitätsstudiengangs Robotik hingewiesen. Außerdem wurde die Frage nach der Finanzierung grundlagenorientierter Forschungsprojekte bzw. nach der Mittelverteilung im Bereich der Robotik gestellt. Es wurde auch auf einen Nachholbedarf bei der Ausbildung im Bereich der Auslegung und Anwendung von Robotersystemen hingewiesen. Insbesondere fehle es an hochqualifizierten Arbeitskräften mit interdisziplinären ingenieurwissenschaftlichen Hintergrund.

Es wurde auf die Lücke zwischen universitärer Forschung und dem industriellen Bereich hingewiesen. Im industriellen Sektor sieht die Mehrheit der Befragten einen Mangel an erfolgreichen größeren Firmen, die eigenständig produzieren und nicht nur Zulieferer sind.

Vereinzelt wurde auf den fehlenden gesellschaftlichen Diskurs und den Nachholbedarf beim Thema künstliche Intelligenz hingewiesen. In diesem Zusammenhang wurde auch ein Nachholbedarf bei der Technikfolgenabschätzung, etwa bezüglich Mensch-Roboter-Interaktionen konstatiert.

Der größte Nachholbedarf, den die Mehrheit der ExpertInnen genannt hat, besteht in der fehlenden Vernetzung bzw. Bündelung der Institute, Firmen, Ideen und Innovationen, die es bereits gibt. Es gibt, so der Tenor, viele kleine, aber gute Aktivitäten, allerdings sind diese nur lokal sichtbar, es bräuchte eine Art „Leuchtturm“, der auch international und nachhaltig sichtbar und bekannt ist.

2.3 Akteure in Österreich

Ausgehend von den durch die initiale Internetrecherche identifizierten Akteuren konnten wir nach wenigen Interviews bereits eine Konvergenz der Gruppe der relevanten Personen feststellen. Die GMAR-Arbeitsgruppe Robotik bildet in diesem Zusammenhang einen wichtigen Knotenpunkt, wengleich das Fehlen von Initiativen zur Bündelung und zur längerfristigen Schwerpunktsetzung erwähnt wurde. Neben vielen Hinweisen zu einzelnen Personen oder Instituten wurde auch auf die Übersicht von Hofbauer et al. (2015) sowie auf die noch nicht veröffentlichte GMAR-Potentialstudie verwiesen. Mehrfach erwähnt wurden auch die Pilotfabriken im Bereich Industrie 4.0.

In Anlehnung an die im inhaltlichen Teil vorgenommene Unterscheidung zwischen Universitäts- und Fachhochschulforschung, weiteren Forschungsinstituten und der Industrie teilt sich auch die folgende Liste in diese drei Bereiche. Tabelle 3 zeigt die festgestellten bzw. genannten relevanten Institute an Universitäten und Fachhochschulen.

Tabelle 3: Relevante Universitäts- und Fachhochschul institute

Universität/Fachhochschule	Institut[e]
Alpen-Adria Universität Klagenfurt	<ul style="list-style-type: none"> • Institute of Networked and Embedded Systems
Johannes Kepler Universität Linz	<ul style="list-style-type: none"> • Institut für Robotik
Leopold-Franzens-Universität Innsbruck	<ul style="list-style-type: none"> • Institute of Intelligent and Interactive Systems
Medizinische Universität Wien	<ul style="list-style-type: none"> • Zentrum für medizinische Physik und biomedizinische Technik
Paris-Lodron-Universität Salzburg	<ul style="list-style-type: none"> • Human-Robot Interaction Group
Technikum Wien	<ul style="list-style-type: none"> • Institut für Advanced Engineering Technologies
Technische Universität Graz	<ul style="list-style-type: none"> • Industrie 4.0 Lab • Institute of Computer Graphics and Vision
Technische Universität Wien	<ul style="list-style-type: none"> • Knowledge-Based Systems Group • Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik
Universität für künstlerische und industrielle Gestaltung Linz	<ul style="list-style-type: none"> • Labor für Kreative Robotik

Folgende außeruniversitäre Forschungsinstitute mit direktem oder indirektem Bezug zur Robotik wurden genannt:

- Austrian Institute of Technology, Wien
- Fraunhofer Austria, Wien
- Futurelab, Ars Electronica, Linz
- Institut für Robotik und Mechatronik, Joanneum Research, Klagenfurt
- Institut für Technikfolgen-Abschätzung, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien
- Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien
- Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence, Österreichische Studiengesellschaft für Kybernetik, Wien
- Practical Robotics Institut Austria (PRIA), Verein zur Förderung des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses durch Robotik, Wien

In der Industrie wurden folgende Unternehmen identifiziert:

- ABB Österreich
- Airborne Robotics GmbH, Klagenfurt
- Blue Danube Robotics GmbH, Wien
- Engel Austria, Schwertberg
- Fanuc Österreich GmbH, Vorchdorf
- FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH, Linz
- Festo GmbH, Wien
- HMS Mechatronik GmbH, Lenzing
- igm Robotersysteme AG, Wiener Neudorf
- incubed IT GmbH, Hart bei Graz
- Profactor GmbH, Steyr-Gleink
- robart GmbH, Linz
- Robo Technologies GmbH, Wien

3 Schlussfolgerungen

In technischer Sicht schreitet die Robotik, insbesondere hinsichtlich der Sensorik und Algorithmik, mit schnellen Schritten voran. Dementsprechend sind auch große Fortschritte in einzelnen Anwendungsgebieten zu erwarten. Bei vielen spezifischen Aufgabenstellungen sind Roboter derzeit schon leistungsfähiger als Menschen; mit weiterhin steigenden Fähigkeiten bei sinkenden Kosten werden Roboter zunehmend zu einer konkurrenzfähigen Alternative zu menschlicher Arbeit, und das in zunehmendem Ausmaß auch bei komplexeren Aufgaben. Menschenähnliche Roboter mit vergleichbaren Fähigkeiten bezüglich Motorik und Intelligenz werden aber, ganz abgesehen von der grundsätzlichen Unfähigkeit, echte Emotionen zu empfinden, noch längere Zeit eine Domäne der Science-Fiction bleiben.

Dennoch gibt es für die Politik in vielen Bereichen einen unmittelbaren und dringenden Handlungsbedarf. Allein im Bereich des Einsatzes von Robotern in der Produktion sind durch die damit verbundenen Rationalisierungspotenziale beträchtliche quantitative und qualitative Auswirkungen auf die Arbeitsmärkte zu erwarten. Jetzt gestellte Weichen werden darüber entscheiden, ob die vorhandenen Potenziale optimal genutzt werden können und wie die möglichen Vorteile verteilt werden. Wenngleich im Dienstleistungssektor die Robotik im traditionellen Sinn, damit sind mit Aktoren ausgestattete Roboter gemeint, nur in bestimmten Bereichen eine Rolle spielt, sind gerade hier besonders große Rationalisierungspotenziale durch die Digitalisierung zu erwarten. Bei der Analyse der ökonomischen und sozialen Auswirkungen der Robotik auf den Arbeitsmarkt müssen diese Automatisierungspotenziale aber einbezogen werden, da sie die Gesamteffekte entscheidend beeinflussen können.

Unmittelbarer Handlungsbedarf besteht auch bezüglich des Einsatzes von KI-Technologien, wenngleich dies aufgrund des gegenwärtigen Entwicklungsstands und der noch eingeschränkten Bedeutung für die Robotik im engeren Sinn weniger offensichtlich erscheinen mag. Zum einen ist die „fehlende Intelligenz“ von KI-Systemen offensichtlich kein Grund, entsprechende Technologien trotzdem breit einzusetzen. So werden bereits jetzt zahlreiche Entscheidungen von sogenannten intelligenten Systemen bzw. Algorithmen vorbereitet oder getroffen, die auf statistischen Analysen beruhen, ohne notwendigerweise kausale Zusammenhänge zu kennen oder zu berücksichtigen. Im Fall von selbstlernenden Algorithmen können sich deren konkrete Wirkmechanismen sogar den Entwicklern dieser Technologien entziehen. Zum anderen werden autonome Roboter von ebensolchen Systemen gesteuert und somit zumindest teilweise einer menschlichen Kontrolle entzogen.

In diesem Sinn besitzt die Politik eine besondere Verantwortung, indem sie rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz neuer Technologien und Leitlinien für deren Entwicklung vorgibt und gestaltet. Die Politik kann somit dazu beitragen, einen Technikbereich, der das Leben und das Zusammenleben aller beeinflussen wird, unter Wahrung der menschlichen Autonomie demokratisch zu gestalten.

Die vorliegende Kurzstudie soll einen wichtigen Beitrag zur Orientierung der österreichischen Politik im Bereich Robotik leisten. Sie identifiziert mögliche Optionen, mit denen die Forschung und Entwicklung gefördert werden könnte. Dazu zählen die von österreichischen ExpertInnen genannte Unterstützung bei der Bündelung und weiteren Vernetzung von Forschung und Industrie. In diesem Zusammenhang wird dieser besonders wichtig sein, ist nicht bei der Zusammenarbeit von und mit unmittelbar betroffenen Akteuren zu belassen, sondern im Hinblick auf die zentrale Bedeutung, die dieser Technikbereich für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung in Österreich hat, auch Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften und die Öffentlichkeit einzubinden. Eine umfassende Diskussion unter breiter Beteiligung von Vertretern unterschiedlicher Disziplinen und Interessen kann dazu beitragen, dass die Entwicklung in ethisch, gesellschaftlich und wirtschaftlich gewünschte Bahnen gelenkt wird.

In dieser Studie wird auch eine Reihe an offenen Forschungsfragen identifiziert, welche auf einen Bedarf nach in spezifischen Analysen hinweisen. Dazu gehören vertiefende Studien zu Ethik, insbesondere in Zusammenhang mit Künstlicher Intelligenz oder etwa spezifische Begleitforschung im Bereich Kollaborative Robotik. Die zunehmende und langfristige gesellschaftliche, wirtschafts- und sozialpolitische Relevanz des Themas Robotik legt es nahe, neben einzelnen Aktivitäten Formen einer kontinuierlichen Auseinandersetzung einzurichten. Eine Möglichkeit dazu wäre zum Beispiel ein interdisziplinär zusammengesetzter permanenter Beirat am Ministerium, angesichts der Vielzahl von Aspekten, auch in Hinblick auf die gesellschaftliche Akzeptanz und wirtschaftliche Bedeutung, scheint auch die Etablierung eines Langfristprojekts ähnlich dem Nanotrust-Modell überlegenswert, bei dem die einzelnen Forschungsfragen in Zusammenarbeit mit relevanten Akteuren bestimmt und Ergebnisse mit ihrer Hilfe umgesetzt werden.

Literatur

- Agarwal, T., 2015, Autonomous Robots and Their Types with Applications, *Elprocus*, online unter: <https://www.elprocus.com/different-types-of-autonomous-robots-and-real-time-applications/> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Aichholzer, G., Rhomberg, W., Gudowsky, N., Saurwein, F. und Weber, M., 2015, *Industrie 4.0 – Hintergrundpapier für den 1. Workshop am 4. Mai 2015 (1. Zwischenbericht)*, Wien.
- Arkin, R. C., 2007, Governing Lethal Behavior: Embedding Ethics in a Hybrid Deliberative/Reactive Robot Architecture, *Technical Report GIT-GVU-07-11*, online unter: <https://www.cc.gatech.edu/ai/robot-lab/online-publications/formalizationv35.pdf> (zuletzt abgerufen am 16.05.17).
- Arnold, D. und Wilson, T., 2017, *What doctor? Why AI and robotics will define New Health*: PwC.
- Arntz, M., Gregory, T. und Zierahn, U., 2016, The risk of automation for jobs in OECD countries: A comparative analysis, *OECD Social, Employment, and Migration Working Papers (189)*.
- Asaro, P. und Wallach, W., 2017, Introduction. The Emergence of Robot Ethics and Machine Ethics, in: Asaro, P. und Wallach, W. (Hg.): *Machine Ethics and Robot Ethics*, New York: Routledge, 1-15.
- Baublatt, 2016, Zeitalter Roboter, online unter: <https://www.baublatt.de/startseite/2016/11/11/zeitalter-roboter/> (zuletzt abgerufen am 04.05.17).
- Baumgartner, C., 2017, Digitalisierung im Gesundheitswesen: Menschen sind gewillt, Ärzte durch Roboter und Künstliche Intelligenz zu ersetzen, *Computerwelt*, online unter: computerwelt.at/news/detail/artikel/120337-digitalisierung-im-gesundheitswesen-menschen-sind-gewillt-aerzte-durch-roboter-und-kuenstli/ (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Becker, M., 2016, Israel setzt Roboter zur Grenzkontrolle ein, *Spiegel Online*, online unter: spiegel.de/wissenschaft/technik/militaertechnologie-israel-setzt-roboter-zur-grenzkontrolle-ein-a-868549.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Bedaf, S., Gelderblom, G. J. und De Witte, L., 2015, Overview and categorization of robots supporting independent living of elderly people: what activities do they support and how far have they developed, *Assistive Technology 27(2)*, 88-100.
- Bergen, P. und Tiedemann, K., 2010, *The year of the drone: An analysis of US drone strikes in Pakistan, 2004-2010*: New America Foundation.
- Billard, A., Robins, B., Nadel, J. und Dautenhahn, K., 2007, Building robota, a mini-humanoid robot for the rehabilitation of children with autism, *Assistive Technology 19(1)*, 37-49.
- BMLVS, 2009, Jede Minute zählt: Sprengstoffalarm für die Kampfmittelbeseitiger, online unter: bundesheer.at/archiv/a2009/damagecontrol09/artikel.php?id=3012 (zuletzt abgerufen am 02.05.17).
- BMLVS, 2016a, Bundesheer-Drohnen im Einsatz an der Grenze, online unter: bundesheer.at/cms/artikel.php?ID=8454 (zuletzt abgerufen am 02.05.17).
- BMLVS, 2016b, Bundesheer bei der „European Land Robot Trails“, online unter: bundesheer.at/cms/artikel.php?ID=8415 (zuletzt abgerufen am 02.05.17).
- BMLVS, 2016c, Bundesheer stellt seine Drohnen vor, online unter: bundesheer.at/cms/artikel.php?ID=8293 (zuletzt abgerufen am 02.05.17).

- BMLVS Amt für Rüstung und Wehrtechnik, 2015, Das wehrtechnische Kompetenzzentrum BMLVS. Schriftreihe des Amtes für Rüstung und Wehrtechnik, 4.
- Bonin, H., Gregory, T. und Zierahn, U., 2015, *Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland: ZEW Kurzexpertise*.
- Borenstein, J. und Pearson, Y., 2010, Robot caregivers: harbingers of expanded freedom for all?, *Ethics and Information Technology* 12(3), 277-288.
- Bousonville, T., 2017, *Logistik 4.0. Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette*, Wiesbaden: Springer.
- Bowdler, N., 2011, Bionic hand for „elective amputation“ patient, *BBC News*, online unter: bbc.com/news/science-environment-13273348 (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Breazeal, C., 2003, Toward sociable robots, *Robotics and autonomous systems* 42(3), 167-175.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016, *Automatisiert – Vernetzt – Mobil. Aktionsplan Automatisiertes Fahren*.
- Cerofolini, G., Amato, P., Masserini, M. und Mauri, G., 2010, A surveillance system for early-stage diagnosis of endogenous diseases by swarms of nanobots, *Advanced Science Letters* 3(4), 345-352.
- Chan, M., Campo, E., Estève, D. und Fourniols, J.-Y., 2009, Smart homes—current features and future perspectives, *Maturitas* 64(2), 90-97.
- Christof, F., 2016, Platooning: Lkw im elektronisch gekoppelten Fahrzeugkonvoi, online unter: <https://futurezone.at/science/platooning-lkw-im-elektronisch-gekoppelten-fahrzeugkonvoi/116.088.643> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Chu, M.-T., Khosla, R., Khaksar, S. M. S. und Nguyen, K., 2017, Service innovation through social robot engagement to improve dementia care quality, *Assistive Technology*, 1-11.
- Clarke, R., 1993, Asimov's Laws of Robotics. Implications for Information Technology. Part 1, *IEEE Computer* 26(12), 53-61.
- Clarke, R., 1994, Asimov's Laws of Robotics. Implications for Information Technology. Part 2, *IEEE Computer* 27(1), 57-66.
- Coupeté, E., Manitsaris, S. und Moutarde, F., 2014, Real-time recognition of human gestures for collaborative robots on assembly-line, *3rd International Digital Human Modeling Symposium (DHM2014)*.
- Decker, M., 2008, Caregiving robots and ethical reflection: the perspective of interdisciplinary technology assessment, *AI & society* 22(3), 315-330.
- Decker, M., Fischer, M. und Ott, I., 2017, Service Robotics and Human Labor: A first technology assessment of substitution and cooperation, *Robotics and Autonomous Systems* 87, 348-354.
- Die Welt, 2016, Hermes testet Zustellung per Starship-Roboter, online unter: <https://www.welt.de/regionales/hamburg/article156119709/Hermes-testet-Zustellung-per-Starship-Roboter.html> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Dinges, M., Leitner, K.-H., Dachs, B., Rhomberg, W., Wepner, B., Bock-Schappelwein, J., Fuchs, S., Horvath, T., Hold, P. und Schmid, A., 2017, *Beschäftigung und Industrie 4.0. Technologischer Wandel und die Zukunft des Arbeitsmarkts*, im Auftrag von: BMVIT, Wien: AIT Austrian Institute of Technology, WIFO, Fraunhofer Austria Research GmbH, online unter: infothek.bmvit.gv.at.

- Donath, A., 2016, BMW will autonomes Elektroauto 2021 anbieten, online unter: <https://www.golem.de/news/inext-bmw-will-autonomes-elektroauto-2021-anbieten-1605-120928.html> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Dragutinovic, N., Brookhuis, K. A., Hagenzieker, M. P. und Marchau, V., 2005, Behavioural effects of Advanced Cruise Control Use—a meta-analytic approach, *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 5(4), 267-280.
- Duffy, B. R., 2003, Anthropomorphism and the social robot, *Robotics and autonomous systems* 42(3), 177-190.
- European Parliament, 2017, Civil Law Rules on Robotics. European Parliament resolution of 16 February 2017 with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics (2015/2103(INL)).
- Eurostat, 2016, Population structure and ageing, online unter: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Population_structure_and_ageing (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Fachhochschule Kärnten, 2016, Sieg für die FH Kärnten beim RoboCup in der Spezialdisziplin Geschicklichkeit, online unter: fh-kaernten.at/en/degree-programs/engineering-it/news/news-archive/news-archive-list/news-archive-details/sieg-fuer-die-fh-kaernten-beim-robocup-in-der-spezialdisziplin-geschicklichkeit/ (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Fernandes, F. E., Yang, G., Do, H. M. und Sheng, W., 2016, Detection of privacy-sensitive situations for social robots in smart homes, *Automation Science and Engineering (CASE), 2016 IEEE International Conference on*.
- Fiedler, M., 2015, Roboter im Blut, *Der Tagesspiegel*, online unter: tagesspiegel.de/wissen/medizinischer-fortschritt-roboter-im-blut/12751850-all.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Finsterbusch, S., 2017, Warum Roboter jetzt sogar schwitzen, *Frankfurter Allgemeine*, online unter: faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/kuenstliche-intelligenz-ki-warum-roboter-jetzt-schwitzen-14868306.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- FOCUS, 2016, Unterwasser-Roboter soll Munition beseitigen helfen, online unter: http://www.focus.de/wissen/diverses/umwelt-unterwasser-roboter-soll-munition-beseitigen-helfen_id_5191322.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Fong, T., Nourbakhsh, I. und Dautenhahn, K., 2003, A survey of socially interactive robots, *Robotics and autonomous systems* 42(3), 143-166.
- Forbes, 2015, Yoshiyuki Sankai's Cyborgs Serve Japan's Elderly, online unter: <https://www.forbes.com/sites/jsimms/2015/04/01/yoshiyuki-sankais-cyborgs-serve-japans-sick-and-elderly/#5d944ed5d6c5> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Frankfurter Allgemeine, 2016, Ein Robo-Cop patrouilliert im Kaufhaus, online unter: faz.net/aktuell/wirtschaft/menschen-wirtschaft/technischer-fortschritt-ein- robo-cop-patrouilliert-im-kaufhaus-14245694.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Frankfurter Allgemeine, 2017, Foxconn will fast alle Mitarbeiter durch Roboter ersetzen, online unter: faz.net/aktuell/wirtschaft/internet-in-der-industrie/handy-zulieferer-foxconn-will-fast-alle-mitarbeiter-durch-roboter-ersetzen-14601265.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Freitas, R. A., 2005, Current status of nanomedicine and medical nanorobotics, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* 2(1), 1-25.
- Frey, C. B. und Osborne, M. A., 2013, The future of employment, *How susceptible are jobs to computerisation*.

- Gangloff, M., 2009, Curious about robot police used to greet Wytheville post office hostage suspect?, *The Roanoke Times*, online unter: roanoke.com/webmin/news/curious-about-robot-police-used-to-greet-wytheville-post-office/article_d809b0e0-482b-5cb8-9fef-4f92f940df7e.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Goliasch, D., 2006, Einsatz am World Trade Center. Roboter im Rettungsdienst, online unter: <http://www.scinexx.de/dossier-detail-291-4.html> (zuletzt abgerufen am 03.05.17).
- Granitza, E. und Hauer, T., 2017, Arbeitsplätze: Mensch besteht neben Roboter, *Frankfurter Neue Presse*, online unter: fnp.de/nachrichten/politik/Arbeitsplaetze-Mensch-besteht-neben-Roboter;art673,2452128 (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Graser, F., 2017, Autonome Fraunhofer-Tiefseeroboter sollen den Meeresboden erforschen, *Elektronik Praxis*, online unter: elektronikpraxis.vogel.de/sensorik/articles/585798/ (zuletzt abgerufen am 03.05.17).
- Gupta, S., 2015, Six Recent Trends in Robotics and Their Implications, *IEEE Spectrum*, online unter: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/home-robots/six-recent-trends-in-robotics-and-their-implications> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- H2020, 2015, Robotics projects resulting from H2020 – LEIT ICT 23 Call 1, online unter: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/dae/document.cfm?action=display&doc_id=8396 (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- H2020, 2016a, Robotics projects resulting from H2020 – LEIT ICT-25&26&35-2016, online unter: http://ec.europa.eu/newsroom/document.cfm?doc_id=40883 (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- H2020, 2016b, Robotics projects resulting from H2020 – LEIT ICT 24 2015 and FoF 2015, online unter: <https://www.key4biz.it/wp-content/uploads/2016/01/ListofroboticsprojectsinH2020LEITICT2015andFoF2015-2.pdf> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Hansson, S. O., 2007, The ethics of enabling technology, *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* 16(03), 257-267.
- Heerink, M., Kröse, B., Evers, V. und Wielinga, B., 2008, The Influence of Social Presence on Acceptance of a Companion Robot by Older People, *Journal of Physical Agents* 2(2), 33-40.
- Helmore, E., 2009, US now trains more drone operators than pilots, *The Guardian*, online unter: <https://www.theguardian.com/world/2009/aug/23/drones-air-force-robot-planes> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Hofbauer, M., Müller, A., Piater, J., Rinner, B., Steinbauer, G., Vincze, M. und Wögerer, C., 2015, Making Better Robots – Beiträge Österreichs zur Europäischen Robotics Research Roadmap, *Elektrotechnik & Informationstechnik* https://pervasive.aau.at/BR/pubs/2015/Hofbauer_ei2015.pdf (zuletzt abgerufen am 5.07.17).
- Hommel, E.-M., 2016, Bergbau: Die Unterwanderung, online unter: <https://www.heise.de/tr/artikel/Bergbau-Die-Unterwanderung-3286724.html> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Honigsbaum, M., 2013, The future of robotics: in a transhuman world, the disabled will be the ones without prosthetic limbs... *The Guardian*, online unter: <https://www.theguardian.com/technology/2013/jun/16/future-robotics-bionic-limbs-disabled> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Human Rights Watch, 2012, Losing Humanity: The Case against Killer Robots, online unter: <https://www.hrw.org/report/2012/11/19/losing-humanity/case-against-killer-robots> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).

- Human Rights Watch, 2016, Killer Robots and the Concept of Meaningful Human Control. Memorandum to Convention on Conventional Weapons (CCW) Delegates, <https://www.hrw.org/news/2016/04/11/killer-robots-and-concept-meaningful-human-control> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- IFR, International Federation of Robotics, 2016a, *Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots*, online unter: https://ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20161.pdf (zuletzt abgerufen am 31.03.17).
- IFR, International Federation of Robotics, 2016b, *Executive Summary World Robotics 2016 Service Robots*, online unter: https://ifr.org/downloads/press/02_2016/Executive_Summary_Service_Robots_2016.pdf (zuletzt abgerufen am 31.03.17).
- IFR, International Federation of Robotics, 2016c, Welcome to IFR Press Conference 29 September 2016 Frankfurt.
- IFR, International Federation of Robotics, 2016d, Welcome to the IFR Press Conference. Publication of World Robotics 2016 – Service Robots. 12 October 2016, Seoul.
- Kachouie, R., Sedighadeli, S., Khosla, R. und Chu, M.-T., 2014, Socially assistive robots in elderly care: a mixed-method systematic literature review, *International Journal of Human-Computer Interaction* 30(5), 369-393.
- Kallweit, S., Walenta, R. und Gottschalk, M., 2016, ROS based safety concept for collaborative robots in industrial applications: *Advances in Robot Design and Intelligent Control*: Springer, 27-35.
- Kragt, R., 2008, Roboter als Herdenmitglied, *Deutschlandfunk*, online unter: deutschlandfunk.de/roboter-als-herdenmitglied.676.de.html?dram:article_id=25393 (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Krieger-Lamina, J. und Peissl, W., 2016, Vernetzte Automobile. Datensammeln beim Fahren – von Assistenzsystemen zu autonomen Fahrzeugen. Endbericht.
- Kurz, C., 2017, Angriff mit dem Roboter, *Frankfurter Allgemeine*, online unter: faz.net/aktuell/feuilleton/aus-dem-maschinenraum/ioactive-deckt-sicherheitsluecken-bei-robotern-auf-14910628.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Lill, F., 2014, Octavia, bitte retten Sie mich!, online unter: zeit.de/wissen/2014-01/roboter-rettungswesen-brandschutz-octavia/komplettansicht (zuletzt abgerufen am 03.05.17).
- Lindinger, M., 2017, Wenn Roboter mit Alderaugen sehen, *Frankfurter Allgemeine*, online unter: faz.net/aktuell/wissen/physik-mehr/winzige-kamera-sieht-aussergewoehnlich-scharf-und-behaelt-doch-die-rundumsicht-14887985.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Louie, W.-Y. G., McColl, D. und Nejat, G., 2014, Acceptance and attitudes toward a human-like socially assistive robot by older adults, *Assistive Technology* 26(3), 140-150.
- Manzeschke, A., Weber, K., Rother, E. und Fangerau, H., 2013, Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme.
- Marin, D., 2017, Was die Roboter-Revolution für uns bedeutet, *Frankfurter Allgemeine*, online unter: faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftspolitik/zukunft-der-menschheit-was-die-roboter-revolution-fuer-uns-bedeutet-14889045.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Melson, G. F., Kahn Jr, P. H., Beck, A. und Friedman, B., 2009, Robotic pets in human lives: Implications for the human–animal bond and for human relationships with personified technologies, *Journal of Social Issues* 65(3), 545-567.
- Metz, E., 2017, Überflieger nicht nur auf dem Feld: Robotik für die Landwirtschaft, *Der Standard*, online unter: <http://derstandard.at/2000054584863/Ueberflieger-nicht-nur-auf-dem-Feld-Robotik-fuer-die-Landwirtschaft> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).

- Michels, G., 2009, So unterstützt Kollege Roboter, online unter: pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=29667 (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Muio, D., 2015, Japan is running out of people to take care of the elderly, so it's making robots instead, *Business Insider*, online unter: businessinsider.com/japan-developing-carebots-for-elderly-care-2015-11?IR=T (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Murphy, M., 2015, This mind-controlled prosthetic robot arm lets you actually feel what it touches, *Quartz*, online unter: <https://qz.com/500572/this-mind-controlled-prosthetic-robot-arm-lets-you-actually-feel-what-it-touches/> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Nagenborg, M., Capurro, R., Weber, J. und Pingel, C., 2008, Ethical regulations on robotics in Europe, *Ai & Society* 22(3), 349-366.
- Nagl, W., Titlbach, G. und Valkova, K., 2017, Digitalisierung der Arbeit: Substituierbarkeit von Berufen im Zuge der Automatisierung durch Industrie 4.0; Endbericht.
- NASA, 2015, Curiosity Overview, online unter: https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/overview/index.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Nevejans, N., 2016, European Civil Law Rules in Robotics. Study for the JURI Committee.
- Niman, J., 2013, Prosthetic Technology and Human Enhancement: Benefits, Concerns and Regulatory Schemes Pt1, *Institute for Ethics and Emerging Technologies*, online unter: <https://ieet.org/index.php/IEET2/more/Niman20130502> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Nördinger, S., 2015, Amazon nutzt in Europa erstmals Roboter, online unter: <https://www.produktion.de/nachrichten/unternehmen-maerkte/amazon-nutzt-in-europa-erstmals-roboter-108.html> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- ORF, 2016, Fiat-Chrysler-Chef rechnet mit Roboterautos in fünf Jahren, online unter: <http://orf.at/stories/2338151> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Oubbati, M., 2007, Robotik. Skript zur Vorlesung Robotik, Universität Ulm, Institut für Neuroinformatik. Online unter: https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/iui.inst.130/Arbeitsgruppen/Robotics/Robotik/Robotik-Skript_07-08.pdf (zuletzt abgerufen am 02.05.17).
- Palmerini, E., Azzarri, F., Battaglia, F., Bertolini, A., Carnevale, A., Carpaneto, J., Cavallo, F., Carlo, A. D., Cempini, M., Controzzi, M., Bert-Jaap Koops, Lucivero, F., Mukerji, N., Nocco, L., Pirni, A., Shah, H., Salvini, P., Schellekens, M. und Warwick, K., 2014, *D6.2 Guidelines on Regulating Robotics* robolaw.eu (zuletzt abgerufen am 02.05.17).
- Peneder, M., Bock-Schappelwein, J., Firgo, M., Fritz, O. und Streicher, G., 2016, *Österreich im Wandel der Digitalisierung*: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung
- Pfimlin, É., 2017, Roboterwaffen: Autonom im rechtsfreien Raum, *Le Monde diplomatique* (Deutsche Ausgabe).
- Pichler, A., 2015, Industrie 4.0 und die Logistik, online unter: wisto.at/assets/content/Download%20Files/Logistik%204.0%20-%20Andreas%20Pichler.pdf (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Pichler, A., Wögerer, C., Fritz, G., Vincze, M., Steinbauer, G., Hofbauer, M., Kubinger, W., Gspandl, S., Müller, A. und Piater, J., 2017, *Potentialstudie Robotik in Österreich*, im Auftrag von: BMVIT: Gesellschaft für Mess-, Automatisierungs- und Robotertechnik (GMAR) / Fachgruppe Robotik.
- Pluta, W., 2016, Bauen wie ein Roboter, online unter: <https://www.golem.de/news/in-situ-fabricator-bauen-wie-ein-roboter-1603-119804.html> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).

- Rosenberg, M. und Markoff, J., 2016, The Pentagon's „Terminator Conundrum“: Robots that Could Kill on their own, *The New York Times*, online unter: https://www.nytimes.com/2016/10/26/us/pentagon-artificial-intelligence-terminator.html?_r=0 (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Royakkers, L. und van Est, R., 2015, A Literature Review on New Robotics: Automation from Love to War, *International Journal of Social Robotics* 7(5), 549-570.
- Salvini, P., Ciaravella, G., Yu, W., Ferri, G., Manzi, A., Mazzolai, B., Laschi, C., Oh, S.-R. und Dario, P., 2010, How safe are service robots in urban environments? Bullying a Robot, *RO-MAN, 2010 IEEE*.
- Schroeder, P., 2015, Australischer Roboter Hadrian mauert Haus in 48 Stunden, online unter: ingenieur.de/Branchen/Bauwirtschaft/Australischer-Roboter-Hadrian-mauert-Haus-in-48-Stunden (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Shane, S., 2011, C.I.A. Is Disputed on Civilian Toll in Drone Strikes, *The New York Times*, online unter: nytimes.com/2011/08/12/world/asia/12drones.html?pagewanted=all (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Sharkey, A. und Sharkey, N., 2012, Granny and the robots: ethical issues in robot care for the elderly, *Ethics and information technology* 14(1), 27-40.
- Sharkey, A. J., 2016, Should we welcome robot teachers?, *Ethics and Information Technology* 18(4), 283-297.
- Sharkey, N., 2008, 2084: Big robot is watching you. Report on the future of robots for policing, surveillance and security, online unter: <http://staffwww.dcs.shef.ac.uk/people/N.Sharkey/Future%20robot%20policing%20report%20Final.doc> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Sharkey, N. und Sharkey, A., 2010, The crying shame of robot nannies: an ethical appraisal, *Interaction Studies* 11(2), 161-190.
- Silvera-Tawil, D., Rye, D. und Velonaki, M., 2015, Artificial skin and tactile sensing for socially interactive robots: A review, *Robotics and Autonomous Systems* 63, 230-243.
- Singer, P. W., 2009, Military robots and the laws of war, *The New Atlantis* (23), 25-47.
- SPARC, 2016, Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap. For Robotics in Europe: Horizon 2020 Call ICT-2017 (ICT-25, ICT-27 & ICT-28). Release B 02/12/2016.
- Sparrow, R. und Sparrow, L., 2006, In the hands of machines? The future of aged care, *Minds and Machines* 16(2), 141-161.
- Standard, 2016, Österreich: 128 Industrie-Roboter pro 10.000 Beschäftigte, online unter: <http://derstandard.at/2000045143801/In-Oesterreich-kommen-auf-10-000-Beschaefigte-128-Industrie-Roboter> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Stegmüller, H., 2016, Kollaborierende Roboter, *Frankfurter Allgemeine*, online unter: faz.net/asv/integrated-industry-2/zusammenarbeit-kollaborierende-roboter-14500939.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Strawser, B. J., 2010, Moral predators: The duty to employ uninhabited aerial vehicles, *Journal of Military Ethics* 9(4), 342-368.
- Streissler-Führer, A., 2016, *Digitalisierung, Produktivität und Beschäftigung*: Studie für das Bundeskanzleramt.
- Strickland, E., 2016, Autonomous Robot Surgeon Bests Humans in World First, *IEEE Spectrum*, online unter: <http://spectrum.ieee.org/the-human-os/robotics/medical-robots/autonomous-robot-surgeon-bests-human-surgeons-in-world-first> (zuletzt abgerufen am 12.05.17).

- Sung, J.-Y., Grinter, R. E., Christensen, H. I. und Guo, L., 2008, Housewives or technophiles?: understanding domestic robot owners, *Proceedings of the 3rd ACM/IEEE international conference on Human robot interaction*.
- Tachi, S. und Komoriya, K., 1982, The Third Generation Robot, *Journal of the Society of Instrument and Control Engineers (SICE) 21(12)*, 1140-1146.
- Takács, A., Nagy, D. Á., Rudas, I. und Haidegger, T., 2016, Origins of surgical robotics: From space to the operating room, *Acta Polytechnica Hungarica 13(1)*, 13-30.
- Tanaka, F., Cicourel, A. und Movellan, J. R., 2007, Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center, *Proceedings of the National Academy of Sciences 104(46)*, 17954-17958.
- Tech2, 2017, Intercourse robotic Silicon Samantha has a functioning G-spot, online unter: tech2.org/intercourse-robotic-silicon-samantha-has-a-functioning-g-spot/ (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Tichy, G., 2016, Geht der Arbeitsgesellschaft die Arbeit aus?, *WIFO Monatsberichte 89(12)*, 853-871.
- Tokunaga, S., Horiuchi, H., Tamamizu, K., Saiki, S., Nakamura, M. und Yasuda, K., 2016, Deploying service integration agent for personalized smart elderly care, *Computer and Information Science (ICIS), 2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on*.
- Turkle, S., 2006, A nascent robotics culture: New complicities for companionship, *AAAI Technical Report Series*.
- University of Leeds, 2015, Leeds wins £4.2m funding to develop robot fixers of the future, online unter: https://www.leeds.ac.uk/news/article/3774/leeds_wins_42m_funding_to_develop_robot_fixers_of_the_future (zuletzt abgerufen am 04.05.17).
- Vallor, S., 2011, Carebots and caregivers: Sustaining the ethical ideal of care in the twenty-first century, *Philosophy & Technology 24(3)*, 251-268.
- van der Plas, A., Smits, M. und Wehrmann, C., 2010, Beyond speculative robot ethics: a vision assessment study on the future of the robotic caretaker, *Accountability in research 17(6)*, 299-315.
- Van Oost, E. und Reed, D., 2010, Towards a sociological understanding of robots as companions, *International Conference on Human-Robot Personal Relationship*.
- Van Wynsberghe, A., 2013, Designing robots for care: Care centered value-sensitive design, *Science and engineering ethics 19(2)*, 407-433.
- Veruggio, G., Solis, J. und Van der Loos, M., 2011, Roboethics: Ethics applied to robotics [from the guest editors], *IEEE Robotics & Automation Magazine 18(1)*, 21-22.
- von Petersdorff-Campen, W., 2017, Die Pizza bringt der Roboter, *Frankfurter Allgemeine*, online unter: faz.net/aktuell/wirtschaft/netzwirtschaft/die-pizza-bringt-der-roboter-14916199.html (zuletzt abgerufen am 04.05.17).
- Vujaklija, I., Farina, D. und Aszmann, O., 2016, New developments in prosthetic arm systems, *Orthop. Res. Rev 8*, 31-39.
- Wainer, J., Dautenhahn, K., Robins, B. und Amirabdollahian, F., 2010, Collaborating with Kaspar: Using an autonomous humanoid robot to foster cooperative dyadic play among children with autism, *Humanoid Robots (Humanoids), 2010 10th IEEE-RAS International Conference on*.
- Weber, W., 2017, *Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung*: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

- Werfel, J., Petersen, K. und Nagpal, R., 2014, Designing collective behavior in a termite-inspired robot construction team, *Science* 343(6172), 754-758.
- WKÖ, 2017, Demografische Entwicklung in Österreich Online unter: https://www.wko.at/Content.Node/Interessenvertretung/Standort-und-Innovation/Demografische_Entwicklung_in_Oesterreich.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Wrenn, E., 2012, Meet Wall-Ye: The French grape-picking robot which can work day and night – and may well put vineyard workers out of a job, online unter: dailymail.co.uk/sciencetech/article-2209975/Meet-Wall-Ye-The-French-grape-picking-robot-work-day-night--vineyard-workers-job.html (zuletzt abgerufen am 12.05.17).
- Yarin, A., 2010, Nanofibers, nanofluidics, nanoparticles and nanobots for drug and protein delivery systems, *Sci Pharm* 78, 542.
- Yohanan, S. und MacLean, K. E., 2008, The haptic creature project: Social human-robot interaction through affective touch, *Proceedings of the AISB 2008 Symposium on the Reign of Catz & Dogs: The Second AISB Symposium on the Role of Virtual Creatures in a Computerised Society*.