

Robotik im Wandel

Der Einsatz von Robotern hat sich in den letzten Jahren systematisch erweitert und hat massives Zukunftspotenzial. Bei der industriellen Fertigung geht der Trend zu kollaborativen Leichtbaurobotern. Neue Einsatzfelder finden sich zunehmend auch jenseits der industriellen Fertigung.

Industrierobotik
Verkäufe weltweit 2014

10.700 Mio. US \$
229.261 Stück

Servicerobotik
Verkäufe weltweit 2014

6.000 Mio. US \$

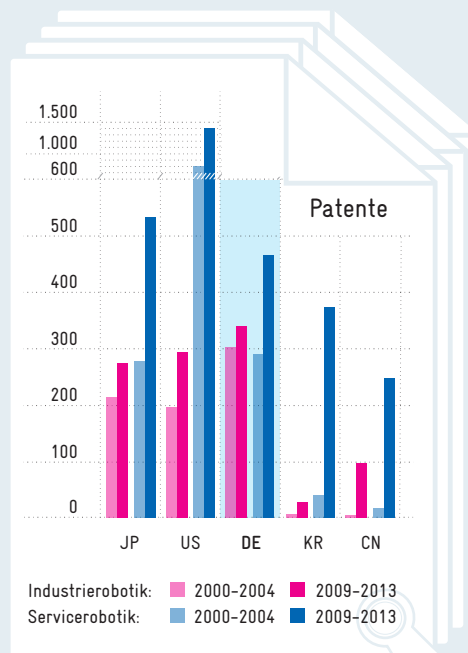
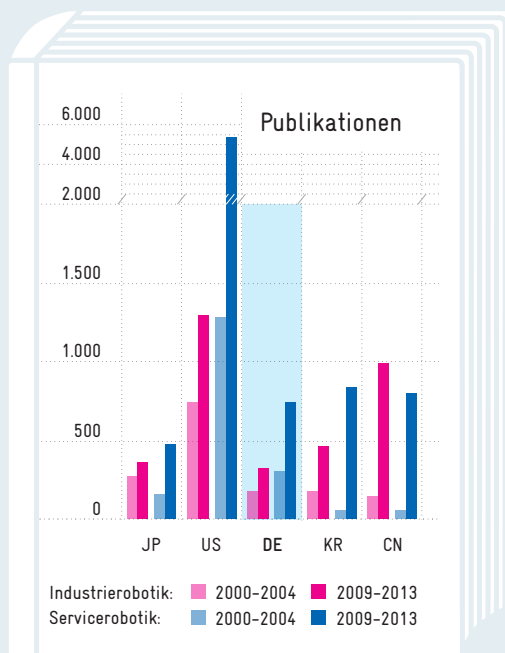
privat:
2.200 Mio. US \$
4.672.365 Stück

gewerblich:
3.800 Mio. US \$
24.207 Stück

Prognostizierte Verkäufe von Industrie-robotern 2015 bis 2018 weltweit:

1.283.000 Stück

Publikationen und Patente in der Industrierobotik und Servicerobotik 2000 bis 2004 und 2009 bis 2013



Quelle: Geschätzte Verkaufszahlen und Umsätze der Robotik: World Robotics Report – Industrial Robots/Service Robots, IFR (2015a, 2015b).
Publikationsdaten: Datenbank Scisearch, Web of Science (WoS). Patentdaten: Datenbank World Patents Index (WPI, STN). Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Perspektive Servicerobotik

Serviceroboter helfen bei der Automatisierung von Dienstleistungen. Sie unterstützen beispielsweise bei chirurgischen Eingriffen, führen Wartungs- und Inspektionsarbeiten aus, übernehmen Hausarbeit oder bewirtschaften landwirtschaftliche Flächen.

Prognostizierte Verkäufe der Servicerobotik weltweit 2015 bis 2018

Servicerobotik für den privaten Gebrauch gesamt:

20.820 Mio. US \$
35.103.100 Stück

Servicerobotik für den gewerblichen Gebrauch gesamt:

19.404 Mio. US \$
152.375 Stück

Pflege und Assistenz



288 Mio. US \$
32.500 Stück

Sicherheit und Überwachung



127 Mio. US \$
150.000 Stück

andere
605 Mio. US \$
4.000 Stück

Freizeit und Unterhaltung



7.600 Mio. US \$
9.004.500 Stück

Hausarbeit



12.200 Mio. US \$
25.912.100 Stück

Öffentlichkeitsarbeit



83 Mio. US \$
3.800 Stück

Verteidigung



4.533 Mio. US \$
58.800 Stück

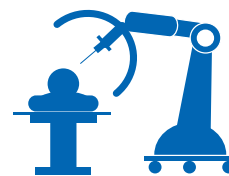
andere
15 Mio. US \$
2.000 Stück

Logistik



1.602 Mio. US \$
14.500 Stück

Medizin



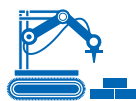
6.227 Mio. US \$
7.800 Stück

Professionelle Reinigung



105 Mio. US \$
6.650 Stück

Bau und Abbruch



139 Mio. US \$
2.500 Stück

Exoskelette



170 Mio. US \$
3.000 Stück

mobile Plattformen



245 Mio. US \$
16.000 Stück

Landwirtschaft/ Gelände



5.625 Mio. US \$
32.200 Stück

Inspektion und Wartung



180 Mio. US \$
4.000 Stück

Rettung und Sicherheit



254 Mio. US \$
700 Stück

Unterwasser



226 Mio. US \$
425 Stück

B 2 Robotik im Wandel

B 2-1 Status quo und Perspektiven der Robotik

Seit gut 50 Jahren werden Roboter in der industriellen Fertigung eingesetzt. Zunächst dienten sie dazu, innerhalb von Produktionsprozessen monotone, gefährliche oder körperlich anstrengende Tätigkeiten zu übernehmen. In den letzten Jahrzehnten haben sich allerdings die Einsatzfelder von Robotern massiv erweitert (vgl. Box B 2-1). Zentrale Treiber dieser Entwicklungen sind neben steigenden Rechenleistungen vor allem einfachere Programmiermethoden und die zunehmende Flexibilität der Roboter.

In der Industrierobotik geht der Trend zu kollaborativen Leichtbaurobotern.¹³³ Sie sind im Vergleich zu konventioneller Industrierobotik günstiger in der Anschaffung, flexibler einsetzbar und leichter zu bedienen.¹³⁴ Gerade in Produktionsbereichen, in denen manuelle Fertigkeiten bislang unersetzlich schienen – wie beim Zusammenbau kleinteiliger Komponenten bei geringer Seriengröße – entstehen neue Anwendungsfelder. Durch maschinelles Lernen sind zudem die Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI)¹³⁵ in jüngster Vergangenheit erheblich gewachsen. In der industriellen Produktion erlauben Neuerungen aus der MMI-Forschung die Ergänzung menschlicher Arbeitskraft um ein zunehmend leistungsfähiges und trotzdem leicht beherrschbares Maschinenumfeld (sogenannte robotische Assistenzsysteme).¹³⁶ Qualifizierte menschliche Arbeitskräfte leiten die Roboter beispielsweise mittels Sprach- und Gestensteuerung. Ziel ist es, Flexibilität und Effizienz der Fertigung zu erhöhen. In manchen Fällen liegen die Kosten einer robotischen Arbeitsstunde inzwischen unter einem US-Dollar.¹³⁷ Damit werden selbst die Lohnkosten von Fabrikarbeitern in Niedriglohnländern unterboten.

Daneben ist zu beobachten, dass die Voll- oder Teilautomatisierung auch im Dienstleistungssektor Einzug hält. Sogenannte Serviceroboter werden zunehmend außerhalb von streng abgegrenzten Sicher-

heitsräumen eingesetzt, wie sie in der Industrierobotik üblich sind. Bereits heute gibt es Roboter, die Gebäude, Straßen oder Fahrzeuge reinigen. Überwachungsroboter erhöhen die Sicherheit im privaten wie auch im öffentlichen Raum. Teilautomatisierte Systeme unterstützen bei chirurgischen Eingriffen oder in der Betreuung und Pflege von Menschen. Roboter übernehmen vermehrt gefährliche Wartungs- und Inspektionsarbeiten und fahrerlose Transportsysteme erledigen Botengänge. Bereits heute sind weltweit schätzungsweise fast 80.000 Servicerobotik-Systeme in gewerblichen Anwendungen eingesetzt.¹³⁸ Darüber hinaus werden private Serviceroboter (wie vollautomatische Staubsauger) in Millionen Stückzahlen für den Hausgebrauch erworben.¹³⁹

Ein Beispiel für einen Serviceroboter neuer Generation ist der humanoide Roboter „Pepper“.¹⁴⁰ Er kann Mimik und Gestik analysieren und darauf reagieren.¹⁴¹ Er dient derzeit vorrangig der Unterhaltung und wird beispielsweise als Einkaufsassistent im Einzelhandel eingesetzt.¹⁴² Der knapp 1.500 Euro¹⁴³ teure Serviceroboter sammelt darüber hinaus vielfältige Informationen der mit ihm interagierenden Kunden.¹⁴⁴ Die Auswertung dieser Kundendaten erlaubt die Optimierung bestehender und Erschließung gänzlich neuer Geschäftsmodelle. Aktuell wird der Roboter zu einem Preis unterhalb der Herstellungskosten verkauft. Rentabel wird er durch zusätzliche Monatsbeiträge (etwa 110 Euro) für regelmäßige Upgrades beispielsweise der cloud-basierten Spracherkennung und durch neue Anwendungen in App-Stores. Dadurch werden wie bei Smartphones die Anwendungsmöglichkeiten kontinuierlich erweitert. Robotik kann also auch zu einem wichtigen Element datengetriebener Geschäftsmodelle werden.¹⁴⁵

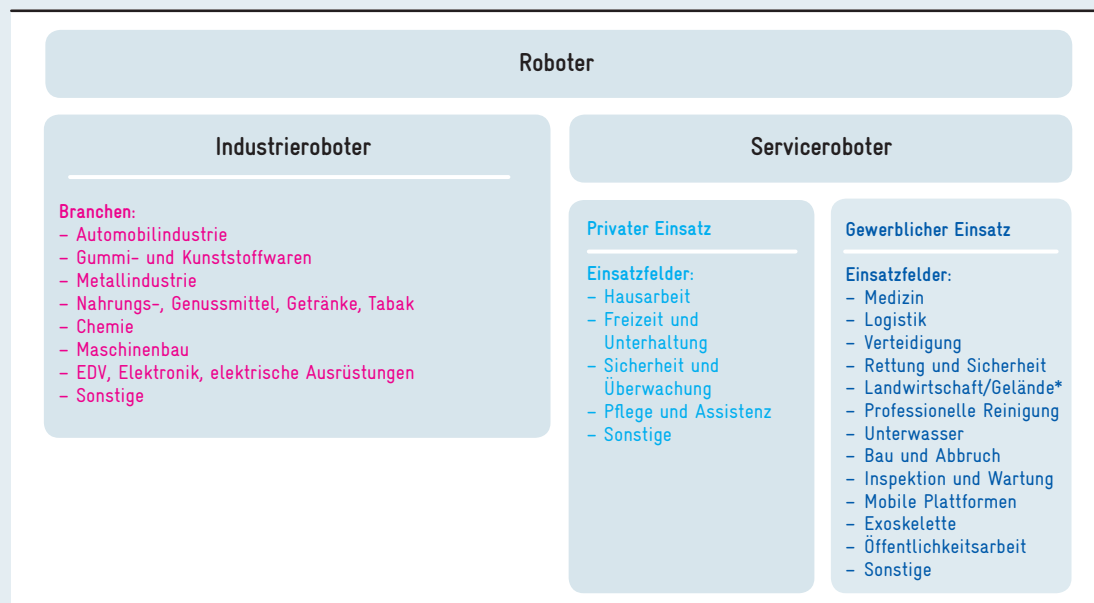
Robotik und robotische Systeme

Ein Roboter ist eine maschinell betriebene Anlage, die über ein bestimmtes Maß an Autonomie verfügt, innerhalb einer bestimmten Umgebung physisch agiert und bestimmungsgemäße Aufgaben durchführt.¹⁴⁶ Roboter, die in industriellen Produktionsprozessen eingesetzt werden, werden als Industrieroboter bezeichnet. Alle sonstigen Roboter werden den Servicerobotern zugerechnet, wobei zwischen solchen für den gewerblichen und solchen für den privaten Einsatz unterschieden wird.¹⁴⁷ Die unten stehende Abbildung verdeutlicht diese Trennung. Sensoren und Aktoren¹⁴⁸ befähigen

vor allem moderne Serviceroboter, auch in unstrukturierten Umgebungen zurechtzukommen. Die Robotikforschung betont daher die Bedeutung von künstlicher Intelligenz und Anpassungsfähigkeit sowie die Fähigkeit zur Zusammenarbeit mit Menschen.

Davon zu unterscheiden sind Robotik-Systeme, auf die sich viele Berichte zur wirtschaftlichen Bedeutung von Robotik beziehen. Robotik-Systeme umfassen neben Robotern zusätzlich Software, Peripheriegeräte sowie verbundene Anlagen- und Systemtechnik. Die technologische Trennung

zwischen Robotern und Robotik-Systemen ist jedoch nicht immer klar. In der Konsequenz sind beispielsweise Umsatzkennziffern selten eindeutig zu bemessen. So wurde der weltweite Markt für Industrieroboter 2014 auf 10,7 Milliarden US-Dollar geschätzt, wohingegen jener für Robotik-Systeme in diesem Bereich mit 32 Milliarden US-Dollar in etwa dreimal so hoch beziffert wurde.¹⁴⁹ Aussagen und Interpretationen zu Robotik-Märkten müssen diese Unterscheidung sehr genau betrachten.¹⁵⁰



* Enthält auch Roboter im Bereich Raumfahrt und Bergbau.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die Wirtschaftszweigklassifikation WZ 2008 (für Industrieroboter) sowie bezogen auf die Einteilung der Einsatzfelder durch die IFR (für Serviceroboter).

Einsatz von Industrierobotern in Deutschland auf Fahrzeugbau konzentriert

Betrachtet man die Zahlen zur Industrierobotik im verarbeitenden Gewerbe für die fünf Länder mit der weltweit höchsten Nutzung, zeigt sich, dass im Jahr 2014 Japan den höchsten Bestand aufweist (vgl. Tabelle B 2-2).¹⁵¹ An zweiter Stelle, aber weit abgeschlagen, liegen die USA, gefolgt von Deutschland,

Südkorea und China, die in etwa gleichauf liegen. Noch im Jahr 2011 ergab sich ein anderes Bild. Zwar lag Japan auch schon 2011 mit fast genauso vielen Industrierobotern an erster Stelle. Allerdings haben zwischenzeitlich die USA und Deutschland in der Rangfolge getauscht.

Besonders auffällig sind die Entwicklungen Chinas und Südkoreas. Südkorea hat, von einem vergleichs-

weise niedrigen Niveau in 2011 kommend, Deutschland im Jahr 2014 fast eingeholt, mit einem Wachstum von 59 Prozent. Südkorea weist damit eine ähnliche Dynamik auf wie die USA (+58 Prozent). Noch eindrücklicher ist die Entwicklung Chinas. 2011 hatte China noch einen Bestand von 45.697 Einheiten, während Deutschland einen Bestand von 142.678 aufwies. In nur drei Jahren hat China mit einem dramatischen Wachstum (+218 Prozent) nahezu zum Bestand in Deutschland aufgeschlossen. Bezogen auf die gesamten Industrierobotikbestände besagen Prognosen, dass China bereits im Jahr 2016 die Rangliste der betrachteten fünf Länder anführen und Deutschland auf dieser Liste das Schlusslicht sein wird.¹⁵²

Abbildung B 2-3 veranschaulicht, wie die Bestände auf die bedeutendsten Branchen im verarbeitenden Gewerbe verteilt sind.¹⁵³ Es zeigt sich, dass in allen betrachteten Ländern – mit Ausnahme Deutschlands – sowohl der Fahrzeugbau als auch die Elektroindustrie die dominierenden Anwenderbranchen sind. In Deutschland hingegen wird eine klare Konzentration auf den Fahrzeugbau als Hauptanwender sichtbar. Diese starke Konzentration der Robotikanwendung macht die deutschen Robotikhersteller anfällig für konjunkturelle Schwankungen in der Automobilindustrie.

Tab B 2-2
Download
Daten

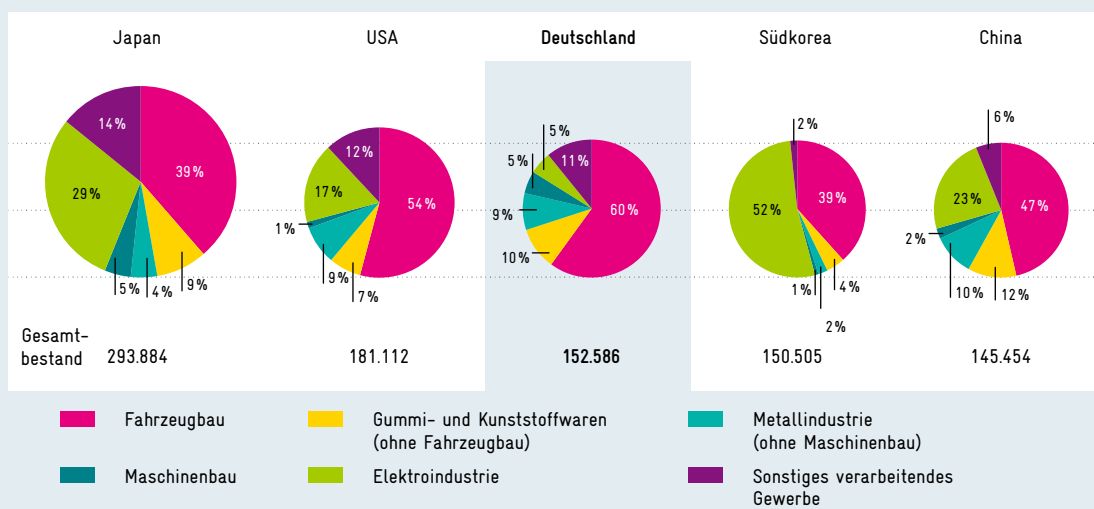
Zeitliche Entwicklung des Bestands an Industrierobotern im verarbeitenden Gewerbe in ausgewählten Ländern von 2011 bis 2014

Land	Bestand 2011	Bestand 2012	Bestand 2013	Bestand 2014	Wachstum 2011-2014
Japan	304.432	308.038	301.610	293.884	-3,5%
USA	114.476	134.844	155.998	181.112	58,2%
Deutschland	142.678	145.174	147.390	152.586	6,9%
Südkorea	94.619	112.674	129.685	150.505	59,1%
China	45.697	63.471	94.437	145.454	218,3%

Quelle: Eigene Darstellungen basierend auf IFR-Daten.

Abb B 2-3
Download
Daten

Verteilung der Bestände von Industrierobotern auf bedeutende Branchen in ausgewählten Ländern 2014

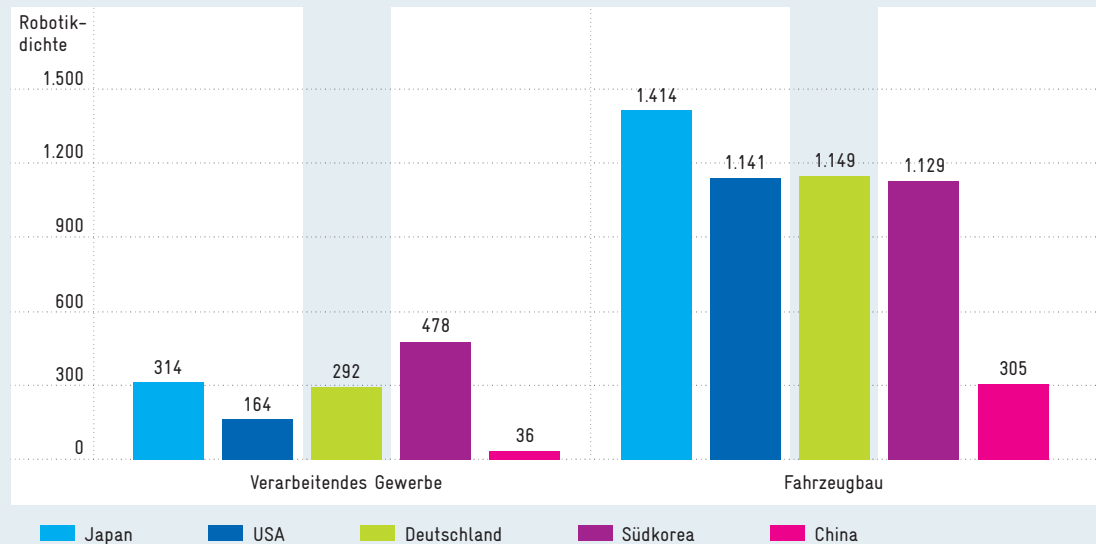


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf IFR-Daten.

Abb B 2-4

Download
Daten

Robotikdichte* 2014 im verarbeitenden Gewerbe und im Fahrzeugbau in ausgewählten Ländern



* Robotikdichte = Anzahl Industrieroboter pro 10.000 Beschäftigte
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf IFR-Daten.

Interessant ist aber nicht nur die Verteilung der Roboter auf die unterschiedlichen Branchen, sondern auch die Intensität der Nutzung von Industrierobotern in den genannten Industrien und Ländern. Hierfür wird üblicherweise als Indikator die Robotikdichte herangezogen. Sie bezeichnet das Verhältnis der Anzahl von Robotern zu 10.000 Beschäftigten in einer Branche. Die Robotikdichte im Jahr 2014 lässt sich im internationalen Vergleich nur für das gesamte verarbeitende Gewerbe sowie für den Fahrzeugbau ermitteln.¹⁵⁴ Abbildung B 2-4 zeigt, dass die Nutzung im Fahrzeugbau mit Abstand am intensivsten ist. Bezogen auf das gesamte verarbeitende Gewerbe, lagen Südkorea (478), Japan (314), Deutschland (292) und die USA (164) allesamt noch weit vor China (36).

Servicerobotik als weltweiter Wachstumsmarkt

Die wirtschaftliche Bedeutung der Robotik spiegelt sich in den durch Roboterverkäufe erzielten Umsätzen wider.¹⁵⁵ Im Jahr 2014 lag der Umsatz der Industrierobotik bei 10,7 Milliarden US-Dollar. Für die Servicerobotik betrug er 6,0 Milliarden US-Dollar (aufgeteilt in 3,8 Milliarden US-Dollar für den gewerblichen Einsatz und 2,2 Milliarden US-Dollar für den privaten Einsatz). Aktuell sind die Umsätze in der Industrierobotik noch deutlich höher als jene in der Servicerobotik.¹⁵⁶ Prognosen sagen allerdings

voraus, dass die Servicerobotik die Industrierobotik hinsichtlich des weltweiten Marktvolumens zwischen 2020 und 2025 eingeholt haben wird.¹⁵⁷ Die größten Potenziale werden bei der Nachfrage nach privaten Systemen im Haushalt und in der Unterhaltung sowie in den Bereichen Medizin, Landwirtschaft, Verteidigung und Logistik gesehen.¹⁵⁸

Die in der Infografik dargestellten Umsatzschätzungen zu den einzelnen Einsatzfeldern zeigen, dass alleine zwischen 2015 und 2018 über 150.000 neue Serviceroboter für den gewerblichen Einsatz mit einem Gesamtwert von 19,4 Milliarden US-Dollar verkauft werden sollen.¹⁵⁹ Im privaten Bereich wird mit dem Verkauf von etwa 35 Millionen Einheiten und einem Gesamtumsatz von 20,8 Milliarden US-Dollar gerechnet.

Insgesamt zeigt sich, dass die Industrieroboter zwar weiterhin eine bedeutende ökonomische Rolle spielen werden.¹⁶⁰ Zugleich wird jedoch die Servicerobotik spürbar an Bedeutung gewinnen, und zwar nicht nur im gewerblichen, sondern auch im privaten Bereich.¹⁶¹ Für Deutschland wird wichtig sein, sich nicht ausschließlich auf die Industrierobotik zu konzentrieren, sondern insbesondere die Wachstumspotenziale der Servicerobotik zu nutzen. Hier sind andere Länder wie beispielsweise Japan oder Südkorea weit voraus (vgl. Box B 2-5).¹⁶²

Robotikstrategien in den USA, China, Japan und Südkorea

Unter der Obama-Regierung wird in den USA die Reindustrialisierung des Landes vor allem durch den Einsatz moderner Fertigungstechnologien (advanced manufacturing) vorangetrieben.¹⁶³ Hierbei nimmt die „National Robotics Initiative“ eine bedeutende Rolle ein.¹⁶⁴ Mehrere staatliche Institutionen stellen gemeinsam Mittel in Höhe von bis zu 70 Millionen US-Dollar bereit – hauptsächlich für die Entwicklung von Robotern, die mit Menschen unmittelbar zusammenarbeiten und sie unterstützen.¹⁶⁵

Während bei der traditionellen Industrierobotik Anbieter aus Europa und Asien vorherrschen, werden die zukünftigen Potenziale in der US-Robotik-Strategie vermehrt im Bereich der Servicerobotik gesehen¹⁶⁶ und dort insbesondere im Medizinsektor sowie in der militärischen Anwendung und der Raumfahrt.¹⁶⁷

China stellte im Jahr 2015 den sogenannten „Made in China 2025“-Plan vor. Das langfristige Ziel ist es in diesem Rahmen, China zur weltweit führenden Nation in der Produktionstechnik zu machen. Chinas Robotikstrategie umfasst daher neben der Förderung der Anwendung von Industrierobotern auch den weiteren Ausbau der heimischen Robotik-Industrie, was die Erforschung und Entwicklung neuer Robotergenerationen einschließt.¹⁶⁸ Infolgedessen weist die Entwicklung sowohl des Bestands als auch des Marktanteils der in China gefertigten Industrieroboter in den letzten Jahren eine beeindruckende Dynamik auf.¹⁶⁹

Japan ist nach den USA und China die weltweit drittgrößte Volkswirt-

schaft.¹⁷⁰ Ähnlich wie Deutschland ist Japan zwar arm an Rohstoffen, betreibt jedoch einen im internationalen Vergleich sehr hohen Aufwand an Forschung und Entwicklung (FuE), um seine Position zu behaupten.¹⁷¹ Japan gilt in großen Teilen des Maschinen- und Automobilbaus, der Elektro- und der Chemieindustrie mit Deutschland und den USA als weltweit führend.¹⁷²

Gleichzeitig sieht sich Japan mit den Herausforderungen einer schnell alternden Bevölkerung und einer abnehmenden Anzahl Erwerbsfähiger konfrontiert.¹⁷³ Es kämpft zudem mit den Folgen des Reaktorunglücks in Fukushima. Bei der Bewältigung dieser Herausforderungen soll Robotik eine herausragende Rolle spielen. Japan hat daher im Jahr 2014 als Teil seiner „Revitalization Strategy“ eine „New Industrial Revolution driven by robots“ propagiert.¹⁷⁴ Ihr folgte im Februar 2015 die „New Robot Strategy“.¹⁷⁵ Ziele der Strategie sind, die abnehmende Wettbewerbsfähigkeit im verarbeitenden Gewerbe zu stoppen, dem wachsenden Mangel an Arbeitskräften und den Folgen von Naturkatastrophen durch eine weitere Erhöhung des Automatisierungsgrads zu begegnen¹⁷⁶ sowie neben dem Industrie- auch den Dienstleistungssektor für Robotikanwendungen zu erschließen. Um diese Ziele zu erreichen, will Japan die Handhabbarkeit und Flexibilität von Robotern deutlich erhöhen. Insbesondere für KMU und den Privatgebrauch soll der Robotikeinsatz damit erleichtert werden. Die neuen Systeme sollen als autonome und vernetzte Datensammler außerdem neue Geschäftsmodelle auf Basis von Big Data ermöglichen.

Südkorea war noch bis in die 1960er Jahre eines der ärmsten Länder der Welt, stieg jedoch in nur 50 Jahren zum Weltmarktführer bei verschiedenen Spitzentechnologien auf – so beispielsweise bei Halbleitern, Smartphones und Monitoren.¹⁷⁷ Dieser Erfolg basiert wesentlich auf überdurchschnittlichen FuE-Anstrengungen. Allein zwischen 2003 und 2013 hat sich der Anteil der Ausgaben für FuE der südkoreanischen Volkswirtschaft am Bruttoinlandsprodukt von 2,49 Prozent auf 4,36 Prozent erhöht.¹⁷⁸

Der erste, 2009 in Kraft getretene Fünfjahresplan für die südkoreanische Robotikstrategie „Intelligent Robot Development and Dissemination Promotion Law“ war auf die Schaffung geeigneter industrieller Infrastrukturen für die Entwicklung und Diffusion von Robotikanwendungen ausgelegt. Das südkoreanische Ministerium für Handel, Industrie und Energie hat 2014 den zweiten Fünfjahresplan für die nationale Robotikstrategie vorgelegt. Mit diesem sollen nun das gesamte verarbeitende Gewerbe und auch der Dienstleistungssektor durchdrungen werden. Bis Ende 2018 soll der Robotikmarkt für südkoreanische Anbieter auf bis zu 7 Milliarden US-Dollar jährlich anwachsen – mit angestrebten Exporten von jährlich 2,5 Milliarden US-Dollar.¹⁷⁹ Gemeinschaftliche Investitionen von öffentlicher und privater Hand in Höhe von 2,6 Milliarden US-Dollar bis 2018 sollen hierfür den südkoreanischen Marktakteuren zunächst die nötigen Kernkompetenzen verschaffen. Gleichzeitig soll die Nachfrage nach Robotikanwendungen in allen Wirtschaftszweigen gestärkt werden.

B 2-2 Forschung in der Robotik – Patente, Publikationen und Förderung

Um langfristig im Robotikmarkt wettbewerbsfähig zu bleiben, kommt der FuE eine zentrale Bedeutung zu. Im Folgenden wird für den Bereich Robotik dargestellt, wie sich Publikationen und Patente als Indikatoren für FuE zwischen 2000 und 2004 sowie zwischen 2009 und 2013 entwickelt haben.¹⁸⁰ Dabei werden die Bereiche Industrierobotik und Servicerobotik getrennt betrachtet (vgl. Infografik zu Kapitelbeginn).¹⁸¹ Es ergibt sich folgendes Bild: Deutschland ist bei Patenten für Industrierobotik führend, nimmt allerdings bei Patenten für die Servicerobotik im Ländervergleich nur einen Mittelfeldplatz ein. Bezogen auf die Publikationsleistungen dominieren die USA sowohl in der Industrie- als auch in der Servicerobotik.

Betrachtet man die Patentierungsaktivitäten in der Industrierobotik im Zeitverlauf, relativiert sich die starke Position Deutschlands allerdings. Im Zeitraum 2009 bis 2013 lag die Zahl der Patente deutscher Anmelder um 12 Prozent höher als im Zeitraum 2000 bis 2004. Für dieselben Zeiträume nahmen die aggregierten Patentzahlen der Vergleichsländer Japan, USA, Südkorea und China um 64 Prozent zu. Für die Publikationen ergibt sich ein ähnliches Bild. In Deutschland nahmen die Publikationen um 86 Prozent zu, während sie in den Vergleichsländern um 134 Prozent stiegen.

Auch bei der Servicerobotik ist die Publikations- und Patentierungsdynamik in Deutschland deutlich schwächer ausgeprägt als in den Vergleichsländern: Dort ergab sich eine Zunahme der Publikationen zu Servicerobotern um 390 Prozent. In Deutschland nahmen die Publikationen lediglich um 143 Prozent zu. Die Zahl der Patente wuchs in den Vergleichsländern um 123 Prozent, in Deutschland nur um 61 Prozent.

Insgesamt ergibt sich für die Industrierobotik, dass Deutschlands relativ starke Position in der Patentierung zunehmend von den Konkurrenzländern angegriffen wird. Die Expertenkommission hält dies für bedenklich. Noch kritischer ist die Situation im Bereich der Servicerobotik. Hier ist es bis jetzt nicht gelungen, die schwache Ausgangsposition Deutschlands bei Publikationen und Patenten zu verbessern.

Servicerobotik wenig im Förderfokus

Zuwendungsempfänger staatlich geförderter Projekte mit Robotikbezug sind bei großen Fördersummen vorrangig Forschungseinrichtungen und weniger Privatunternehmen.¹⁸² Von allen abgeschlossenen und noch laufenden Robotik-Teilprojekten seit 2010 entfallen sechs der sieben am stärksten geförderten auf das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI).¹⁸³ Gemessen an der Fördersumme wird dabei am meisten in die Bereiche Raumfahrt¹⁸⁴ und in Querschnittsfunktionen investiert, die für viele verschiedene Industrie- und Servicerobotik-Anwendungen von Relevanz sind.¹⁸⁵

Es gibt nur ein speziell auf die Servicerobotik ausgerichtetes Förderprogramm: Im Rahmen von „IKT 2020 – Forschung für Innovationen“ fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit vergleichsweise kleinen Beträgen Vorhaben, die sich mit alltagstauglicher Servicerobotik beschäftigen.¹⁸⁶ Voraussetzung für eine solche Förderung ist die Entwicklung übergreifender Standards und möglichst offener und interoperabler Systemlösungen.¹⁸⁷

Angesichts der zunehmenden Bedeutung der Servicerobotik und des im internationalen Vergleich geringen Bestands an Publikationen und Patenten in Deutschland erscheint es bedenklich, dass diesem Thema in der Forschungsförderung so wenig Priorität zukommt.

Robotik und der Wandel am Arbeitsmarkt

B 2-3

Für die Arbeitsmärkte wird in der öffentlichen Diskussion mit großen Veränderungen durch den zunehmenden Einsatz von Robotik gerechnet.¹⁸⁸ Es stellt sich die Frage, wie die Beschäftigten in Deutschland auf diese Änderungen vorbereitet sind, ob sie durch neue Technologien ersetzt werden oder diese ergänzen. Insbesondere interessieren die Auswirkungen auf Löhne und Beschäftigungschancen. Der Blick auf frühere technologische Änderungen kann hierbei hilfreich sein (siehe Box B 2-6).

Die Betrachtungen vergangener technologischer Entwicklungen und der damit verbundenen Anpassungsprozesse zeigen, dass auch Arbeitnehmer mit mittlerem Qualifikationsniveau in Deutschland in der Regel gut vorbereitet waren und – anders als in anderen Ländern – keine ausgeprägte Polarisierung am Arbeitsmarkt stattgefunden hat.

Auswirkungen technologischer Veränderungen auf die Arbeitswelt

Eine Vielzahl von Studien zur Auswirkung technologischer Veränderungen auf den Arbeitsmarkt hat ihren Ursprung im angelsächsischen Sprachraum. Frühe Studien weisen vor allem auf eine zunehmende Polarisierung, d. h. auf deutlich steigende Ungleichheiten von Löhnen und Beschäftigungschancen, auf dem US-Arbeitsmarkt hin (Polarisierungsthese).¹⁸⁹ Diese Polarisierung wird auf Veränderungen der am Arbeitsplatz auszuführenden Tätigkeiten zurückgeführt, die sich durch technologischen Wandel ergeben.¹⁹⁰ Demnach würden sich in den USA Arbeitsplätze im Niedriglohnsektor, die vor allem von geringqualifizierten Arbeitnehmern besetzt sind, durch manuelle Tätigkeiten auszeichnen, während Arbeitsplätze im Hochlohnsektor, die von Hochqualifizierten besetzt sind, hauptsächlich durch kognitive Tätigkeiten charakterisiert seien. Dagegen seien Arbeitsplätze mittlerer Qualifikation durch viele sich wiederholende Tätigkeiten gekennzeichnet. Genau diese sich wiederholenden Tätigkeiten seien es, die durch moderne Technologien ersetzt werden könnten. Durch diese Substitution komme es zu sinkenden Löhnen und zu sinkender Beschäftigung bei Arbeitsplätzen mittlerer Qualifikation. Anders verhalte es sich bei niedrigqualifizierten und hochqualifizierten Arbeitsplätzen: Niedrigqualifizierte Berufe seien erst gar nicht vom technologischen Wandel betroffen; hochqualifizierte Berufe seien komplementär zur Technologie, d. h. sie würden sogar wichtiger, um die modernen Technologien effizient einsetzen zu können.¹⁹¹ Diese Hypothese

ist in den letzten Jahren in einer Vielzahl von Studien empirisch belegt worden.¹⁹²

Für Deutschland sind die empirischen Befunde weniger eindeutig. Während frühere Studien Indizien für eine Polarisierung von Löhnen und Beschäftigung sehen¹⁹³, weisen jüngere Studien eher darauf hin, dass die Polarisierungsthese nicht ohne weiteres auf Deutschland übertragen werden kann.¹⁹⁴ Vielmehr lässt sich am Arbeitsmarkt in Deutschland über die letzten Dekaden eine stabile Mitte ausmachen.¹⁹⁵

Diese stabile Mitte ist vor allem auf die Qualifikationsstruktur der Arbeitskräfte zurückzuführen, die sich substantiell von der angelsächsischer Länder unterscheidet.¹⁹⁶ Während beispielsweise in den USA Arbeitskräfte mittleren Qualifikationsniveaus oft angelernte High School-Absolventen oder solche „mit ein wenig Studium“ („some college“) sind, zeichnet sich die deutsche Mitte durch Arbeitskräfte mit einer soliden dualen Berufsausbildung aus.¹⁹⁷

Einer der Vorteile der dualen Berufsausbildung liegt in der kontinuierlichen Anpassung der Berufsinhalte an den technologischen Wandel. Dies geschieht über etablierte Prozesse zur systematischen Fortentwicklung der betrieblichen und schulischen Curricula, in die vor allem auch technologisch führende Betriebe involviert sind.¹⁹⁸ Damit sind die Arbeitskräfte mittleren Qualifikationsniveaus, insbesondere die jüngeren, nicht nur sehr gut auf den technologischen Wandel vorbereitet, sondern trei-

ben ihn teilweise sogar voran. Letzteres zeigt beispielsweise ein internationaler Vergleich der frühen Nutzung von CNC-Maschinen (computer numerical control): Im Vergleich mit britischen und französischen Betrieben etwa hatten deutsche Betriebe erstens die Technologie sehr früh in der Breite adaptiert, zweitens bei weitem den höchsten Anteil an Werkstattprogrammierung und damit an Ausschöpfung der besonderen Produktivitätsvorteile von CNC und drittens die niedrigsten Stillstandszeiten.¹⁹⁹

Die Bedeutung modernisierter Curricula für die Beschäftigungseffekte nach der Einführung von CNC-Maschinen in Deutschland zeigt auch eine aktuelle Studie.²⁰⁰ Arbeitnehmer, die nach den Lehrplänen der reformierten Metall- und Elektroberufe ausgebildet wurden, erzielten höhere Löhne als Beschäftigte, die noch nach den vorhergehenden Lehrplänen unterrichtet wurden. Auch ein größerer Teil der bereits vorher Beschäftigten hat sich im Laufe der Zeit den neuen Anforderungen anpassen können und an Lohnsteigerungen partizipiert. Nur ein vergleichsweise kleiner Teil der bereits Beschäftigten konnte den Anpassungsprozess nicht meistern und wechselte den Betrieb oder die Branche und war so von Einkommensverlusten betroffen.

Anders als es also angelsächsische Studien nahelegen, ist die Beschäftigung in Deutschland eher komplementär zum Einsatz neuer Technologien.²⁰¹ Prozessinnovationen führten hier nicht unmittelbar zu einem Ersatz der Arbeitskräfte.²⁰² Zudem zeigt

sich, dass – anders als in den USA²⁰³ – in Deutschland auch für mittlere Qualifikationen die Tätigkeitsprofile sehr heterogen sind und sich nicht allein durch Routinetätigkeiten charakterisieren lassen. Die mittleren Qualifikationsniveaus zeichnen sich sowohl durch Berufe mit einem hohen Anteil an manuellen Tätigkeiten als auch durch Berufe mit einem hohen Anteil an kognitiven Tätigkeiten aus, wobei die manuellen Tätigkeiten im Laufe der Zeit tendenziell schlechter und die kognitiven besser vergütet wurden.²⁰⁴ Anders als in den USA werden in Deutschland auch die Berufsprofile über die Zeit hinweg den Bedarfen angepasst, so dass es nicht zu einer starken Polarisierung der Löhne gekommen ist.

Schaut man sich darüber hinaus für Deutschland an, wie schnell das durch eine Ausbildung erworbene Humankapital im Laufe der Zeit seinen Wert verliert und wie der Wertverlust von der Art der Tätigkeiten abhängt, zeigen sich wiederum differenzierte Muster.²⁰⁵ Die Kenntnisse aus sogenannten wissensbasierten Tätigkeiten, vor allem mit spezifischem technologischem Wissen, verlieren ihren Wert schneller als solche aus erfahrungsbasierten Tätigkeiten, beispielsweise soziale Fähigkeiten oder Führungsfähigkeiten. Diejenigen Arbeitnehmer, die also ihr ursprüngliches Wissen durch Weiterbildung nicht nur regelmäßig aktualisieren, sondern auch ergänzen, schützen sich damit vor negativen Konsequenzen des technologischen Wandels.

Voraussetzung dafür war eine gute und breite berufliche Ausbildung sowie eine regelmäßige Aktualisierung der Curricula entsprechend aktuellen technologischen Entwicklungen. Das duale Berufsbildungssystem mit seiner regelmäßigen Aktualisierung der Curricula, an dem vor allem auch technologisch führende Betriebe beteiligt sind, hat also dazu beigetragen, die Auswirkungen des technologischen Wandels für Arbeitnehmer mit mittlerem Qualifikationsniveau abzufedern und den Fortschritt teilweise sogar voranzutreiben. Für die Zukunft bedeutet dies, dass das System der Curriculum-Aktualisierung gepflegt und kontinuierlich weiterentwickelt werden muss.

Weiter zeigen die Analysen, dass ergänzend zur Ausbildung eine regelmäßige Aktualisierung und Ergänzung der Kompetenzen älterer Arbeitnehmer durch systematische Weiterbildungsanstrengungen und Arbeitsplätze mit sich weiterentwickelnden Tätigkeiten für die Bewältigung des technologischen Wandels unabdingbar sind. In Zukunft muss vor dem Hintergrund des absehbaren demografischen Wandels der Weiterbildung eine erhöhte Aufmerksamkeit zukommen und auch dort eine kontinuierliche und systematische Aktualisierung von Kompetenzen eingebaut werden, so wie sie heute im System der dualen Ausbildung schon selbstverständlich ist.

Handlungsempfehlungen

B 2–4

Die Bundesregierung sieht in der Robotik eine bedeutende Technologie der Zukunft. Die Expertenkommission teilt diese Einschätzung uneingeschränkt. Deutschland ist im internationalen Vergleich beim Robotereinsatz in der industriellen Fertigung – insbesondere im Fahrzeugbau – derzeit noch gut aufgestellt. Konkurrenz erwächst Deutschland insbesondere aus Robotik-Nationen wie den USA, Japan, Südkorea und künftig auch China. Diese Konkurrenzländer holen bei Publikationen und Patenten in der Industrierobotik schnell auf. Zudem verändern sich die Einsatzpotenziale moderner Roboter in vielen Branchen und zwar nicht nur innerhalb des industriellen Sektors, sondern auch bei der Erbringung von Dienstleistungen. Die Servicerobotik wird ökonomisch immer bedeutender und wird Prognosen zufolge in naher Zukunft die Bedeutung der Industrierobotik sogar übersteigen. In diesem Bereich ist Deutschland bisher nicht gut aufgestellt.

Forschung und Transfer stärken

- Im Gegensatz zu den vier Vergleichsländern verfügt Deutschland über keine explizite Robotikstrategie. Die Expertenkommission empfiehlt der Bundesregierung, eine solche Strategie zu entwickeln und dabei insbesondere eine der wachsenden Bedeutung der Servicerobotik angemessene Förderung vorzusehen.
 - Vor dem Hintergrund der internationalen Konkurrenz ist die sehr starke Konzentration des Robotereinsatzes in der Automobilindustrie in Deutschland kritisch zu beurteilen. Förderprogramme sollten die Potenziale moderner Roboter für den Einsatz in Branchen jenseits der Automobilindustrie explizit in den Fokus nehmen.
 - Auch an den Hochschulen muss die Robotikforschung ein stärkeres Gewicht erhalten. Gleichzeitig müssen Hochschulen und Forschungseinrichtungen Ausgründungen aus der Forschung stärker als bisher unterstützen.
- Robotikanwendungen und -entwicklung sowohl für Berufs- als auch für Hochschulabsolventen systematisch ausgebaut werden. Hierbei stellen MOOCs, mit denen sich die Expertenkommission im letzten Jahresgutachten ausführlich beschäftigt hat, eine große Chance dar. So könnte die Bundesregierung die Entwicklung von MOOCs zur Vermittlung wichtiger Kenntnisse der Roboteranwendung und -entwicklung für unterschiedliche Zielgruppen fördern.
 - In den Hochschulen sollte eine stärkere Verschränkung von klassischen Ingenieur- und Informatikausbildungen erfolgen. Gleichzeitig sollten gezielt Ausbildungsschwerpunkte in der Robotik gestärkt werden, um das zur Verfügung stehende Humankapital für Robotikforschung und -entwicklung zu stärken.

Ausbildung modernisieren und lebenslanges Lernen unterstützen

Um am Arbeitsmarkt auf eine stärkere Verbreitung von Robotern im Industrie- und Servicebereich vorbereitet zu sein, ist es wichtig, Weiterentwicklungen im System der dualen Berufsbildung, der Hochschulen und des lebenslangen Lernens voranzutreiben.

- Im System der dualen Berufsausbildung müssen über alle Berufe hinweg in den entsprechenden Curricula die Anforderungen und Chancen einer stärkeren Nutzung von Robotern vermittelt werden. Wichtig ist dabei, nicht nur auf den Einsatz von Robotern in der Industrie abzustellen, sondern verstärkt auch den Einsatz von Service Robotern (im gewerblichen und im privaten Bereich) ins Blickfeld zu nehmen. Hierfür müssen zügig die entsprechenden Curricula angepasst werden. Die Akteure des Berufsbildungssystems sollten ihre bewährte Zusammenarbeit forcieren, um den Fortschritt in der Robotik kurzfristig in die Ausbildungspraxis einfließen zu lassen. Dieser Prozess sollte durch zusätzliche Finanzmittel der Bundesregierung unterstützt werden.
- Da zudem im Zuge des demografischen Wandels der regelmäßigen Aktualisierung und Ergänzung der Kompetenzen von bereits im Berufsleben stehenden Arbeitnehmern eine immer größere Bedeutung zukommt, müssen das lebenslange Lernen und damit die Weiterbildungsangebote in