

Automatisierung und Robotik-Systeme

Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 11-2016

Bernd Beckert, Daniela Buschak, Birgit Graf (IPA), Martin Hägele (IPA), Angela Jäger, Cornelius Moll, Ulrich Schmoch, Sven Wydra

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)

Karlsruhe, Januar 2016

Diese Studie wurde im Auftrag der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) erstellt. Die Ergebnisse und Interpretationen liegen in der alleinigen Verantwortung der durchführenden Institute. Die EFI hat auf die Abfassung des Berichts keinen Einfluss genommen.

Studien zum deutschen Innovationssystem

Nr. 11-2016

ISSN 1613-4338

Herausgeber: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

Geschäftsstelle, c/o Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Pariser Platz 6, 10117 Berlin

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie die Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der EFI oder der Institute reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Kontakt und weitere Informationen:

Prof. Dr. Ulrich Schmoch
Senior Expert, Projektleiter
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Telefon: 0721-6809-114
Fax: 0721-6809-315
ulrich.schmoch@isi.fraunhofer.de

Dr. Martin Hägele
Abteilungsleiter
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart
Telefon: 0711-970-1203
martin.haegel@ipa.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	A
1 Einführung	1
2 Patent- und Publikationsanalysen zu Robotik und Automatisierung.....	3
2.1 Patentanalysen.....	3
2.1.1 Suchstrategie der Patentanalysen zur Robotik	3
2.1.2 Ergebnisse der Patentanalysen zur Robotik	3
2.1.3 Suchstrategie der Patentanalysen zur Automatisierung.....	6
2.1.4 Ergebnisse der Patentanalysen zur Automatisierung.....	7
2.2 Publikationsanalysen.....	10
2.2.1 Suchstrategie der Publikationsanalysen zur Robotik.....	10
2.2.2 Ergebnisse der Publikationsanalysen zur Robotik	10
2.2.3 Suchstrategie der Publikationsanalysen zur Automatisierung.....	13
2.2.4 Ergebnisse der Publikationsanalysen zur Automatisierung.....	13
2.3 Spezialisierungen in der Robotik.....	15
2.4 Wesentliche Ergebnisse.....	18
3 Quantitative Analysen zu Robotik und Automation im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands	21
3.1 Quantitative Datenbasis.....	21
3.1.1 Betriebsdaten <i>Modernisierung der Produktion</i> 2012	21
3.1.2 IFR-Daten.....	23
3.2 Robotik und Automatisierung in Deutschland	23
3.2.1 Wer sind die (betrieblichen) Anwender von Robotiksystemen?.....	24
3.2.2 Welches Potenzial wird von Betrieben bei der Nutzung von Robotiksystemen ausgeschöpft?.....	29
3.3 Investitionsdynamik in den letzten Jahren	31

II

3.3.1	Wie hat sich der Einsatz von Industrierobotern in Deutschland entwickelt?.....	31
3.3.2	Einsatz von Industrierobotern weltweit und Position Deutschlands	36
3.4	Welchen Nutzen bringen Robotiksysteme für die einsetzenden Betriebe?.....	40
3.4.1	Wertschöpfung	42
3.4.2	Total Factor Productivity.....	43
3.4.3	Qualität/Ausschussquote	43
3.4.4	Termintreue	44
3.4.5	Beschäftigungsentwicklung.....	45
3.4.6	Roboternutzung und organisatorische Innovationen	46
3.4.7	Roboternutzung und Verlagerungsaktivitäten	50
3.5	Direkte Wertschöpfung durch die Herstellung von Robotik- und Automatisierungslösungen	50
3.5.1	Abschätzung der direkten Wertschöpfung in Deutschland	50
3.5.1.1	Vorgehen und Datenquellen	50
3.5.1.2	Abschätzung von Produktionswert, Wertschöpfung und Beschäftigung.....	52
3.5.2	Abschätzung von Marktvolumina und Preisentwicklungen bei Robotern im internationalen Vergleich	57
3.6	Nutzung von IKT im Verarbeitenden Gewerbe.....	60
3.6.1	Verbreitung von Digitalisierungstechnologien.....	61
3.6.2	Einführungsdynamik von Digitalisierungstechnologien bei Roboternutzern	63
3.7	Hervorhebung KMU und Roboter – Was ist das besondere?.....	67
3.7.1	Bedeutung von KMU für Deutschland.....	67
3.7.2	Roboter und KMU.....	67
3.7.3	Aktuelle technische Entwicklungen und Ausblick.....	71
3.8	Fazit	72
4	Servicerobotik.....	77
4.1	Einleitung	77

III

4.2	Definitionen.....	79
4.3	Methode der statistischen Erfassung der Servicerobotik.....	80
4.4	Statistik der Servicerobotik	81
4.4.1	Serviceroboter: Anhaltend starker Anstieg bei persönlichen und Haushaltsrobotern sowie Logistiksystemen	81
4.4.2	Anhaltend starker Anstieg bei persönlichen und Haushaltsrobotern.....	82
4.4.3	Erhebliches Wachstum im Segment Logistiksysteme.....	82
4.4.4	Zunehmende Automatisierung in Landwirtschaft und Viehzucht.....	83
4.4.5	Rückläufige Nachfrage nach Robotern im Verteidigungs- und Medizinsektor im Jahr 2013	83
4.5	Forschungs- und Entwicklungsbedarfe	87
4.6	Bilder zu Servicerobotern.....	89

5 Technische, organisatorische und politische Aspekte von Industrie 4.0..... 99

5.1	Notwendigkeit von koordinierenden, regulatorischen Eingriffen	101
5.1.1	Die Situation in Deutschland und den Vereinigten Staaten	101
5.1.2	Die AMP 2.0-Initiative der amerikanischen Regierung	103
5.1.3	Das Industrial Internet Consortium (IIC)	106
5.1.4	Relaunch der Plattform Industrie 4.0 im April 2015	108
5.2	Referenzmodelle zur Operationalisierung gemeinsamer und offener Standards	111
5.2.1	Bedeutung offener Standards	111
5.2.2	Open Source für Industrie 4.0	113
5.2.3	Standardisierungsanforderungen für Industrie 4.0	115
5.2.4	Unterschiedliche Interessen von großen Unternehmen und KMU.....	116
5.2.5	Unsere Empfehlungen	122
5.3	Die Position der Verbände	122
5.3.1	BITKOM	123
5.3.2	ZVEI.....	125
5.3.3	VDMA.....	127
5.3.4	Verbände-Plattform Industrie 4.0.....	130

6	Auswirkungen von Robotik und Automatisierung auf die Arbeitsmärkte.....	135
6.1	Messung der Arbeitsmarktwirkungen von Robotik und Automatisierung	136
6.2	Arbeitsmarktpolarisierung durch Robotik und Automatisierung	140
6.2.1	Empirische (Ex-post-)Ergebnisse zur Arbeitsmarktpolarisierung durch technologischen Fortschritt	140
6.2.2	Aktuelle Diskussionen über die zukünftigen Arbeitsmarktwirkungen von Robotik und Automatisierung	145
6.3	Auswirkungen der Robotik und Automatisierung auf den Dienstleistungssektor.....	148
6.4	Fazit.....	155
7	Literatur.....	159
	Anhang I zu Kapitel 3.....	179
	Anhang II zu Verlagerungs- und Rückverlagerungsaktivitäten.....	199
	Anhang III: Erhebungsdaten zu Spezialisierungen in der Robotik	213

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Wichtigstes Innovationsfeld nach Nutzer und Nicht-Nutzer IR/HH	28
Tabelle 3-2:	Performanceindikatoren im Vergleich zwischen Betrieben mit und ohne Robotereinsatz sowie im Vergleich zu Betrieben, die Robotertechnik umfassend bzw. nur in geringem Umfang in der Produktion einsetzen.....	41
Tabelle 3-3:	Listung GP zu Robotik und Automation des VDMA.....	52
Tabelle 3-4:	Produktionswerte Bereich „Robotik und Automation“ 2012	53
Tabelle 3-5:	Direkte Wertschöpfung- und Beschäftigungseffekte aus der Herstellung von Gütern im Bereich „Robotik und Automation“	54
Tabelle 3-6:	Kennzahlen Robotik und Automation des VDMA.....	56
Tabelle 4-1:	Ausblick der Nachfrage nach Installationszahlen von Servicerobotern für 2014 und Markt-Forecast.....	86
Tabelle 6-1:	Ergebnisse ausgewählter Studien zur Arbeitsmarktpolarisierung	143

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Robotik: Transnationale Patentanmeldungen	4
Abbildung 2-2:	Robotik: Länderverteilung bei Transnationalen Patentanmeldungen	4
Abbildung 2-3:	Robotik: Zuordnung von Transnationalen Patentanmeldungen zu Patentunterklassen	5
Abbildung 2-4:	Robotik: Anteil von EDV und Sensorik/Übertragung an allen Robotik-Anmeldungen	6
Abbildung 2-5:	Automatisierung: Transnationale Patentanmeldungen	7
Abbildung 2-6:	Automatisierung: Länderverteilung bei Transnationalen Patentanmeldungen	8
Abbildung 2-7:	Automatisierung: Zuordnung von Transnationalen Patentanmeldungen zu Patentunterklassen	9
Abbildung 2-8:	Automatisierung: Anteil von EDV und Sensorik/Übertragung an allen Automatisierungs-Anmeldungen	9
Abbildung 2-9:	Robotik: Publikationen im Web of Science (WoS)	11
Abbildung 2-10:	Robotik: Länderverteilung bei Publikationen	12
Abbildung 2-11:	Robotik: Zuordnung von Publikationen zu Kategorien in WoS	12
Abbildung 2-12:	Automatisierung: Publikationen im Web of Science (WoS)	13
Abbildung 2-13:	Automatisierung: Länderverteilung bei Publikationen	14
Abbildung 2-14:	Automatisierung, Zuordnung von Publikationen zu Kategorien in WoS	15
Abbildung 2-15:	Spezialisierungen bei Publikationen zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldern, 2009-13	16
Abbildung 2-16:	Spezialisierungen bei Transnationalen Patenten zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldern, 2009-2013	17
Abbildung 3-1:	Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Betriebsgröße	24
Abbildung 3-2:	Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Branchenklassen	25
Abbildung 3-3:	Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Seriengröße und Produktkomplexität	26

VII

Abbildung 3-4:	Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach FuE-Intensität.....	27
Abbildung 3-5:	Nutzungsumfang bei Robotern und Anteil an Intensivnutzern nach Betriebsgröße	30
Abbildung 3-6:	Anteil an Intensivnutzern von Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Branchen.....	30
Abbildung 3-7:	Anteil der Betriebe mit Industrierobotern im Zeitverlauf von 1980 bis 2012 im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands	32
Abbildung 3-8:	Anteil der Betriebe mit Roboternutzung in der Produktion und mit Robotik-Folgeinvestitionen in den letzten drei Jahren	32
Abbildung 3-9:	Folgeinvestitionen und Neueinführung nach Betriebsgröße.....	33
Abbildung 3-10:	Folgeinvestition und Neueinführung nach Branche	35
Abbildung 3-11:	Bestand an Industrierobotern im Verarbeitenden Gewerbe weltweit und Anteil Deutschlands sowie Europas von 2003 bis 2013	37
Abbildung 3-12:	Bestand an Industrierobotern im Verarbeitenden Gewerbe in den 10 Ländern mit den höchsten Beständen von 2011 bis 2013.....	38
Abbildung 3-13:	Anzahl an Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte über alle Branchen hinweg in den 15 Ländern mit den höchsten Beständen von 2011 bis 2013.....	39
Abbildung 3-14:	Verbreitung organisatorischer Konzepte unter Roboter-Nutzern und Nicht-Nutzern	47
Abbildung 3-15:	Gesamtumsatz (Inland + Export) nach Teilbereichen „Robotik und Automation“	57
Abbildung 3-16:	Nationaler Markt für Industrieroboter in Millionen US-Dollar (aktuelle Preise, unter Verwendung der Jahresmittelwerte für Wechselkurse).....	58
Abbildung 3-17:	Globaler Erzeugerpreisindex für Industrieroboter mit Basisjahr 1990	59
Abbildung 3-18:	Anwendung von Digitalisierungstechnologien bei Roboternutzern gegenüber Nicht-Roboternutzern 2012.....	62
Abbildung 3-19:	Einführung von Industrierobotern im Zeitraum 1990 bis 2012 im deutschen Verarbeitenden Gewerbe und Einführung ergänzender IKT als Anteil an Roboternutzern, prozentuale Kumulation.....	64

VIII

Abbildung 3-20:	Einführung von Industrierobotern im Zeitraum 1990 bis 2012 im deutschen Verarbeitenden Gewerbe und Einführung IKT-gestützter Logistiklösungen als Anteil an Roboternutzern, prozentuale Kumulation.....	65
Abbildung 3-21:	Einführung von Industrierobotern im Zeitraum 1990 bis 2012 im deutschen Verarbeitenden Gewerbe und Einführung von IKT zur Unterstützung von FuE und Produktion als Anteil an Roboternutzern, prozentuale Kumulation.....	66
Abbildung 3-22:	Gründe für die Nicht-Nutzung von Robotern in KMU.....	70
Abbildung 4-1:	Vorgehensweise zur Durchführung der jährlichen Statistik zur Servicerobotik.....	80
Abbildung 4-2:	Weltweiter Umsatz in der Robotik bis 2015.....	81
Abbildung 4-3 a bis h:	Verkaufszahlen und -werte für Serviceroboter.....	84
Abbildung 5-1:	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) der Verbändeplattform Industrie 4.0.....	102
Abbildung 5-2:	Struktur der neuen Plattform Industrie 4.0 seit 2015.....	110
Abbildung 5-3:	Standardisierungsbereiche für Industrie 4.0.....	115
Abbildung 5-4:	Produktion von Simatic-Steuerungen im Siemens-Werk in Amberg.....	117
Abbildung 5-5:	Hemmnisse für die Umsetzung von Industrie 4.0 bei KMU.....	120
Abbildung 5-6:	Technologiefelder und zugehörige Technologien im Kontext Industrie 4.0.....	121
Abbildung 5-7:	Der Werkzeugkasten Industrie 4.0 des VDMA für den produzierenden Mittelstand.....	129
Abbildung 6-1:	Prozentuale Veränderungen der Beschäftigungsanteile nach Berufsgruppen und Ländern im Zeitraum 1993-2010.....	142

Executive Summary

Vor einer inhaltlichen Betrachtung von Automatisierung und Robotik können Publikations- und Patentanalysen ein gutes Bild der weltweiten Entwicklung in diesem Bereich geben. Ein bemerkenswertes Ergebnis der Patent- und Publikationsanalysen zur Robotik ist, dass auch bei diesem „alten“ Gebiet mit ersten Patentanmeldungen in den 1970er-Jahren die Zahlen der Patentanmeldungen und die der wissenschaftlichen Publikationen nach wie vor steigen. Auffällig am aktuellen Rand ist die relevante Zahl der Patentanmeldungen aus Südkorea und China, bei Publikationen steigen die Zahlen für China stark an. Dieses zeigt die erheblichen Investitionen in die Ausbildung von hochqualifizierten Fachkräften für die Robotik, was in einigen Jahren zu steigenden Patentzahlen führen dürfte.

Bei der Betrachtung der Inhalte der Robotik zeigt sich aktuell eine Erschließung immer neuer Anwendungsfelder – insbesondere im Bereich der Service-Robotik, wie Landwirtschaft, industrielle und private Reinigungsarbeiten, Chirurgie aber auch in industrieller Anwendung wie komplexe Handhabung. Diese neuen Anwendungen sind der Grund für die stetig steigenden Patent- und Publikationszahlen. Sie werden durch leistungsfähigere, kompaktere und kostengünstigere Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ermöglicht, wobei die Erfassung von Umweltbedingungen durch Sensoren und entsprechende Reaktionen im Mittelpunkt stehen.

Bei der Automatisierung ist Südkorea weder bei Patenten noch bei Publikationen ähnlich präsent wie bei Robotern. China ist auch hier bei Patenten prominent vertreten und zeigt eine erhebliche Zahl von Publikationen. Bei den Inhalten der Patente und Publikationen stehen Themen der Datenverarbeitung und der Sensorik im Vordergrund. Die Produktionstechnik, die im Kontext von Industrie 4.0 zentral ist, ist dagegen nicht relevant vertreten. Dieses könnte damit zusammenhängen, dass es bei Industrie 4.0 weniger um die Automatisierung einzelner Geräte als vielmehr um die Koordination von Gesamtsystemen geht und damit technische Fragen der digitalen Übertragung und IKT im Vordergrund stehen.

Die Analysen zu Robotik und Automation im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland basieren im Wesentlichen auf Auswertungen der Erhebung *Modernisierung der Produktion 2012*, welche Angaben zu 1.594 Betrieben umfasst und sich als repräsentativ für das Verarbeitende Gewerbe erweist. Danach nutzen große Betriebe Roboter erheblich häufiger als kleine, die wichtigsten Branchen der Roboternutzung sind vor allem der Fahrzeugbau und danach Gummi- und Kunststoffwaren sowie Metallerzeugnisse. In diesen Branchen ist auch die Nutzung am intensivsten. Von allen Betrieben der Chemiebranche (Hersteller chemischer und pharmazeutischer Erzeugnisse), die Roboter

B

nutzen, hat mehr als ein Drittel diese/n in den letzten drei Jahren (seit 2009) eingeführt. Dies deutet auf einen technischen Durchbruch und unterstreicht die Bedeutung der in verschiedenen Branchen sehr unterschiedlichen technischen bzw. wirtschaftlichen Hürden.

Der Nutzungsgrad von Robotern steigt mit der Seriengröße, ist jedoch unabhängig von der Komplexität der Produkte. Noch vor zehn Jahren war der Nutzungsgrad bei komplexen Produkten geringer, was auf eine Weiterentwicklung der Robotertechnik hindeutet.

Sobald ein Betrieb Roboter eingeführt hat, gibt es in erheblichem Maße Folgeinvestitionen, also eine ständige Modernisierung. Auch hier liegen jedoch KMU hinter Großbetrieben, sodass KMU bei der Roboternutzung nicht aufholen. Aktuell planen fast 10 Prozent aller Industriebetriebe in Deutschland eine Neueinführung von Robotern, d. h. die Dynamik ist nach wie vor hoch.

Weltweit nimmt der Bestand an Robotern stetig zu und hat sich zwischen 2003 und 2013 fast verdoppelt, in Deutschland lag die Steigerung bei rund einem Drittel. Nach der absoluten Zahl der Roboter liegt Japan mit großem Vorsprung an der Spitze, gefolgt von den USA, die sich durch starke Zuwächse vor Deutschland geschoben haben. Südkorea liegt bei massivem Wachstum absolut auf Platz 4, China auf Platz 5, ebenfalls mit einer erheblichen Dynamik. Bei der Berechnung der Intensität der Nutzung (Roboter pro 10.000 Beschäftigte) liegt Südkorea gefolgt von Japan und Deutschland vorne. Hier stehen die USA lediglich auf Rang 6.

Bei einer Analyse des Nutzens von Robotern zeigt sich, dass bei dem Performanzindikator Wertschöpfung pro Beschäftigtem Roboternutzer deutlich vor Nicht-Nutzern liegen. Bei der Total Factor Productivity (TFP) lassen sich hingegen keine signifikanten Unterschiede feststellen. Eindeutige Vorteile ergeben sich für Roboternutzer durch eine Reduzierung der Ausschussquote. Auch bei der Termintreue stehen Roboternutzer deutlich besser als Nicht-Nutzer da. Hinsichtlich der Beschäftigungsentwicklung sind keine signifikanten Unterschiede zwischen Nutzern und Nicht-Nutzern festzustellen, d. h. auch die Befürchtung einer Reduzierung der Beschäftigung bei Roboternutzern bestätigt sich nicht. Die Analyse zeigt weiterhin, dass Roboternutzer stärker organisatorische Innovationen als Nicht-Nutzer einführen.

Der Produktionswert von Gütern und Dienstleistungen im Bereich „Robotik und Automation“ von geschätzt etwa 6 Milliarden Euro in Deutschland im Jahr 2012 verdeutlicht die wirtschaftliche Bedeutung dieses Bereichs. Zudem können im Jahr 2012 etwa 30.000 Beschäftigte diesem Bereich zugeordnet werden. Die Methodik zur Abschätzung

dieser wirtschaftlichen Kennzahlen wird transparent dargestellt, sodass einem breiten Kreis an Interessengruppen weiterführende Analysen ermöglicht werden.

2013 lag das globale Marktvolumen für Roboter bei 9,5 Milliarden US-Dollar. Werden die Kosten für Software, Peripheriegeräte und Systemtechnik addiert, ergibt sich sogar ein Gesamtvolumen von 29 Milliarden US-Dollar. Am aktuellen Rand sind die Marktvolumina für China, die USA und Deutschland deutlich gewachsen. In Deutschland ist das vor allem auf eine verbesserte Qualität der Roboter zurückzuführen, da die Stückzahlen weniger deutlich gestiegen sind.

Roboternutzer setzen im Übrigen deutlich häufiger Digitalisierungstechnologien ein als Nicht-Nutzer. Unterschiede bestehen dabei auch bei der Betriebsgröße; offensichtlich sind die Nutzungsmöglichkeiten für Digitalisierungstechnologie für kleine Betriebe geringer.

In Betrieben mit Roboternutzung spielt bei Digitalisierungstechnologien die Mensch-Maschine-Kooperation eine wichtige Rolle. Aber auch Logistiklösungen und IKT zur Unterstützung von FuE und Produktion, die dem Konzept von Industrie 4.0 zugerechnet werden können, kommen bei ihnen häufig zum Einsatz.

Die geringere Nutzung von Robotern durch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) hat verschiedene Gründe: Die geringere Ressourcenausstattung im Vergleich zu großen Unternehmen sowie die Fertigung kleinerer Serien, die ein häufiges Umprogrammieren der Roboter erfordern. Das führt zu besonderen Anforderungen an Roboter für KMU:

- einfaches Umprogrammieren,
- einfaches und schnelles Umrüsten,
- leichte Verschiebbarkeit in der Produktionshalle,
- hohe Benutzerfreundlichkeit und einfache Schulung für Bediener,
- einheitliche Schnittstellen.

Im Einzelnen führen KMU die folgenden Gründe für die Nicht-Nutzung von Robotern auf:

- zu geringe Fertigungsgröße (63 Prozent),
- keine automatisierbaren Prozesse (61 Prozent),
- Roboter zu teuer (37 Prozent),
- kein Personal für Roboterbedienung (27 Prozent),
- Roboter zu schwer und unflexibel (23 Prozent),
- Programmierung zu zeitaufwendig (20 Prozent),
- Vorbehalte gegen Robotertechnologie (8 Prozent).

Es liegt also eine Mischung von technischen, wirtschaftlichen und personellen Gründen vor, wobei die technischen überwiegen.

Im Lichte der Analysen zu Robotern lassen sich **Handlungsempfehlungen** für die Unterstützung von Betrieben im Verarbeitenden Gewerbe ableiten:

- Ein Ansatzpunkt ist das Angebot sogenannter dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle. Dabei wird nicht mehr das Eigentum am Produkt, hier dem Industrieroboter, verkauft, sondern die Nutzungsmöglichkeit eines Roboters (sog. Pay-per-Use-Modelle oder Mietmodelle). Technische Lösungen für Klein- und Mittelserien, die mobil, schnell umzurüsten und einfach umzuprogrammieren sind, sind allerdings noch nicht in ausreichendem Maße vorhanden.
- Um Betrieben die Entscheidung über die Anschaffung von Robotern zu erleichtern, **wäre es empfehlenswert, dass Anbieter Erfahrungswerte hinsichtlich LCC (Life-Cycle Costing) und TCO (Total Cost of Ownership)¹** im Angebot kommunizieren. Analog zu „Energieeffizienznetzwerken“ könnten **Austauschplattformen** unterstützt werden, um die Kommunikation unter Roboternutzern zu erleichtern und Erfahrungswerte für alle zugänglich zu machen. Besonders für KMU würde das die Stellung gegenüber den Anbietern am Markt verbessern.
- Ein weiterer Punkt ist der Bedarf nach umfassenderer **Beratung und nach Lösungsangeboten**. Gerade Betriebe, die nicht über Fachspezialisten verfügen, benötigen Unterstützung bei der Planung und Erstinbetriebnahme sowie einen zuverlässigen Partner für Wartung und Reparatur. Um das Nutzerpotenzial von KMU auszuschöpfen, wären KMU-spezifische Angebote mit erweitertem Beratungsangebot bzw. als Komplettlösung z. B. schlüsselfertiger Anlagen seitens der Hersteller ein möglicher Ansatzpunkt.
- Schließlich ist es immer noch hilfreich, **KMU-spezifische Lösungen** weiter zu fördern. Potenziell neue Nutzer sind mehrheitlich bei KMU zu finden.

Neben den Robotern für die industrielle Produktion hat sich seit Anfang der 1990er-Jahre ein neuer Markt für Serviceroboter entwickelt, der sich einerseits auf gewerbliche andererseits auf persönliche Anwendungen bezieht. Es handelt sich dabei um Fahrzeuge, manipulierende oder mobile manipulierende Serviceroboter. Der Markt wächst schnell und für das Jahr 2020 wird prognostiziert, dass weltweit ein Volumen von 10 Milliarden US-Dollar erreicht wird, das dem heutigen für Industrieroboter entspricht. Aktuell werden 80.000 Servicerobotersysteme (SRS) gewerblich eingesetzt. Einer noch schnelleren Verbreitung stehen verschiedene Hindernisse entgegen, insbesondere hohe technische Anforderungen, hohe Entwicklungs- und Systemkosten, die Erfordernis gro-

¹ TCO und LCC sind Konzepte, die neben dem Anschaffungspreis weitere Kosten, die während der Lebensdauer des Produkts anfallen, mit betrachten, wie z. B. Betriebskosten, Wartungskosten und Entsorgung. Im produzierenden Gewerbe werden TCO und LCC häufig gleichgesetzt.

ßer Flexibilität, Fragen der Sicherheit und der Akzeptanz. Das Aufgabenspektrum von Servicerobotern ist sehr breit, und durch den häufigen Einsatz im öffentlichen Bereich stellt sich die Frage nach der Sicherheit in spezieller Weise.

Nach Zahl der verkauften Serviceroboter liegt der Bereich Verteidigung an erster Stelle, gefolgt von Landwirtschaft, Logistik und Medizin; nach dem Verkaufswert ergibt sich dagegen die Rangfolge Medizin, Landwirtschaft, Verteidigung und Logistik.

Der Markt in der Servicerobotik weist durch viele Start-ups, Firmenübernahmen und neue Finanzierungsformen wie Crowdfunding eine hohe Dynamik auf. Die Anforderungen an FuE sind aufgrund der vielfältigen Anforderungen erheblich, wobei effizientes Software-Engineering entscheidend ist, um die Entwicklungskosten für Service-roboieranwendungen beherrschbar zu machen.

Industrie 4.0 bezeichnet ein Konzept der Automatisierung, bei dem es in erster Linie um die Vernetzung in der Produktion, zum einen zwischen Maschinen und Geräten, zum anderen zwischen Kunden, Lieferanten und anderen Abteilungen im Unternehmen geht. In der deutschen Diskussion stehen derzeit unter anderem die Themen Standardisierung und Sicherheit im Vordergrund. Im Jahr 2013 hat sich eine Verbändeplattform Industrie 4.0 aus BITKOM, ZVEI und VDMA gebildet, die im April 2015 ihren Abschlussbericht vorgelegt hat.

In den USA wurde in diesem Kontext im Jahr 2012 die Regierungsinitiative Advanced Manufacturing Partnership (AMP 2.0) ins Leben gerufen. Kern ist die Vernetzung zentraler Akteure, Unternehmen und Universitäten. Die wichtigste Aktivität ist die Gründung von Forschungszentren mit Public Private Partnership (PPP) von Unternehmen und Universitäten, wobei langfristig 45 Zentren geplant sind, in denen neue Fabrikkonzepte und Produktionstechnologien erforscht und erprobt werden.

Die zweite relevante Aktivität in den USA ist die Gründung des Industrial Internet Consortium (IIC), zu dem global tätige Unternehmen, Start-ups, Systemhersteller, Forschungseinrichtungen und Universitäten gehören, darunter sind auch sieben deutsche Mitglieder. Ziel des ICC ist, den Erfahrungsaustausch zwischen Unternehmen zu fördern und anhand von Pilotanwendungen die Digitalisierung der Produktion zu erproben und zu verbessern.

Im April 2015 wurde die deutsche Plattform Industrie 4.0 erneut aktiviert, dieses Mal unter Führung von BMWi und BMBF. Als neuer thematischer Schwerpunkt wurde „Aktivitäten am Markt“ eingeführt, es zeichnet sich eine Betonung von Kooperation und Wissenstransfer ab. Im Hinblick auf das Thema Standardisierung hat sich die neue Plattform Industrie 4.0 für alternative Ansätze geöffnet, was sich z. B. in der Einbin-

derung der separaten Aktivitäten des Konsortiums aus SAP und Deutscher Telekom zeigt, dass eigene Standards als De-facto-Standards voranbringen will. Ein neuer Akteur in der Plattform Industrie 4.0 ist die Fraunhofer-Gesellschaft, die sich um die Einführung einer deutschen Cloud zur Erhöhung der Datensicherheit bemüht („Industrial Data Space“).

Welche Rolle offene Standards im Kontext von Industrie 4.0 spielen und inwiefern sie geeignet sind, die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion schneller voranzubringen als proprietäre Standards, ist derzeit unklar. Faktisch sind offene Standards in der Fabrikkommunikation bereits heute weit verbreitet, woran auch die weitergehende Vernetzung von Dingen und Systemen anknüpfen könnte. Ein spezieller Fall ist dabei Open-Source-Software, die Nutzer an ihre besonderen Bedürfnisse anpassen können. Experten sehen hier spezifische Vorteile für kleine und mittlere Unternehmen.

Einsatzmöglichkeiten und Modernisierungspotenziale von Industrie-4.0-Technologien variieren zwischen großen und kleineren Unternehmen: Für große Unternehmen ergeben sich insbesondere Möglichkeiten der Flexibilisierung der Produktion in großen Serien und es kann eine größere Transparenz in komplexen Produktionszusammenhängen erzielt werden. Für mittlere und kleinere Unternehmen gibt es dagegen eine Reihe von Hindernissen bei der Einführung von Industrie 4.0, wobei laut Umfragen an erster Stelle die Unklarheit beim wirtschaftlichen Nutzen, der Aufwand bei der neuen Arbeitsorganisation, die Notwendigkeit von Standards, die Unklarheit bei neuen Geschäftsfeldern und der Mangel an geeigneten Fachkräften stehen.

Für KMU ist es oftmals auch nicht sinnvoll, alle denkbaren Elemente von Industrie 4.0 einzuführen. Dies spricht für modularisierte Ansätze. Eine entscheidende Rolle haben hier IT-Dienstleister, wobei es einer erheblichen Kompetenz bedarf, um qualifiziert den Bedarf des jeweiligen Unternehmens zu ermitteln.

Während von einigen großen Industrie-4.0-Pionierunternehmen und z. T. auch von den IT-lastigen Verbänden die Ansicht vertreten wird, dass nur eine vollständige Digitalisierung und eine durchgehende Automatisierung aller Prozesse entsprechende Effizienzsteigerungen ermöglicht, entwickelt sich momentan ein Bewusstsein dafür, dass insbesondere KMU nicht alle Stufen des Industrie-4.0-Konzepts umsetzen müssen oder können. Hinweise darauf liefern z. B. die aktuellen Studien des VDMA, „Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe für den deutschen Mittelstand“ (Anderl und Fleischer 2015) und die BMWi-Studie „Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“ (Agiplan, Fraunhofer IML, Zenit 2015).

Ein weiteres Thema, das Gegenstand der Studie war, sind die Auswirkungen der Robotik auf den Arbeitsmarkt. Dabei zeigte sich, dass die existierende Datenbasis in der Arbeitsmarktforschung in Deutschland vergleichsweise gut geeignet ist, um die Auswir-

kungen von Tätigkeiten und Fähigkeiten auf Beschäftigung und Löhne zu messen. Allerdings ist auf dieser Analyseebene die Zuordnung von Veränderungen zu konkreten technologischen Fortschritten (wie z. B. in der Robotik) kaum möglich und es bestehen viele methodische Einzelfragen. Seit den 1990er-Jahren lässt sich für viele Länder und Zeiträume – unter anderem auch für Deutschland – eine Arbeitsmarktpolarisierung bei der Beschäftigung zu Lasten des mittleren Qualifikationssegments feststellen. Dabei wird häufig die Routinisierungshypothese zum Einfluss des technischen Fortschritts bestätigt. Die Debatte, inwiefern sich eine Arbeitsmarktpolarisierung zukünftig durch den Einfluss von Robotik und Automatisierung fortsetzen wird, wird kontrovers diskutiert. Dabei bestehen insbesondere unterschiedliche Ansichten, welche Tätigkeiten tatsächlich in absehbarer Zukunft ersetzt werden können und inwiefern eine Ersetzung von Tätigkeiten in Berufe vor allem zu einer Substitution oder stärker zu einer Veränderung des Arbeitsprofils führt.

Zur Beurteilung dieser Debatte liegen kaum Ex-ante-Betrachtungen vor. Die aktuellen Ergebnisse, die einen sehr hohen Anteil an Arbeitsplätzen identifizieren, die automatisiert werden können, sind in ihrer Aussagekraft sehr deutlich beschränkt und die dort geäußerten Befürchtungen als übertrieben anzusehen. Deshalb sollte diese Forschungsfrage durch weitere Untersuchungen ergänzt werden. Zukünftige Betrachtungen auf der Makroebene sollten dabei vor allem stärker wirtschaftliche und ethische Aspekte, zukünftig vorauszusehende Veränderungen der Arbeitsanforderungen der heutigen Arbeitsplätze und Berufe und die Komplementaritäten zwischen neuen Technologien und Tätigkeiten mit einbeziehen. Daneben wären zusätzliche detaillierte Analysen nötig, die für einen breiten Kreis an beruflichen Tätigkeiten die sich verändernden Anforderungen untersuchen und Implikationen für die Entwicklung neuer Studien- und Ausbildungsgänge/-inhalte ableiten.

Zur Fragestellung, inwieweit Robotik und Automatisierung sich potenziell auf die Beschäftigung im Dienstleistungssektor auswirkt, lassen sich folgende Kernbotschaften zusammenfassen, die als Thesen zu verstehen sind:

- Ein radikaler Wandel bzw. eine sehr starke Rationalisierung von Dienstleistungsarbeit, wie teilweise in der Literatur vorhergesagt, ist auf Basis historischer Daten und für die nähere Zukunft kaum zu erwarten. Vielmehr ist davon auszugehen, dass Robotik und Automatisierung den grundsätzlichen Strukturwandel in Deutschland – zugunsten der Unternehmensdienstleistungen (starkes Wachstum) und zulasten der öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungen (Stagnation bis leichter Rückgang) – weiter vorantreibt bzw. sogar noch beschleunigt.
- Bei den beiden zu erwartenden entgegengesetzten Entwicklungen im Dienstleistungssektor, ist derzeit unklar, ob sich die Beschäftigung bei der Zahl der Erwerbstätigen insgesamt kompensiert, zurückgeht oder ansteigt. Durch den Vorleistungsver-

H

bund ist jedoch zu erwarten, dass insbesondere der Hochlohnsektor der Dienstleistungen durch zusätzliche Beschäftigung profitieren könnte. Insbesondere bei öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungen könnten sich mithilfe von Robotereinsatz und Teilautomatisierungen bei manchen Berufen Produktivitätszuwächse realisieren lassen. Hierdurch könnten Kostensenkungen eintreten, welche die nach oben gerichtete Kostenspirale durchbrechen könnten.

- Wird Robotik und Automatisierung zukünftig im breiten Umfang im Dienstleistungssektor eingesetzt, besteht die Chance auf eine weitere Verflechtung von Industrie und Dienstleistungen. Hierdurch würden bislang nicht vorhandene dienstleistungsinduzierte industrielle Arbeitsplätze entstehen, also zusätzliche Beschäftigung im produzierenden Sektor, die durch die Nachfrage aus Dienstleistungssektoren zustande kommt.

1 Einführung

Die vorliegende Studie zu Automatisierung und Robotik-Systemen greift ein zentrales Thema der aktuellen Entwicklung in Wissenschaft und Technik mit weitreichenden Konsequenzen für Produktion, Dienstleistungen, Gesundheit, Arbeitsmarkt und Qualifizierung auf. Die Studie befasst sich dabei mit den wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen und mit deren Implikationen für Produktion, Dienstleistungen und Innovationspolitik.

Im Einzelnen wird die Situation in dem relativ „alten“ Bereich der Robotik, für den detaillierte Zahlen vorliegen, ausführlicher behandelt als exemplarisch für die Auswirkungen von Automatisierung. Des Weiteren wird die aktuelle Diskussion zu „Industrie 4.0“ – einem noch jungen Thema – dargestellt, und zwar insbesondere im Hinblick auf Implikationen für die Innovationspolitik.

In der Studie werden zunächst Automatisierung und Robotik mithilfe von Publikations- und Patentindikatoren analysiert. Es folgen zwei Kapitel zur Robotik, zu Robotern in der Produktion und zu Servicerobotern. Das fünfte Kapitel befasst sich mit Fragen der Standardisierung im Kontext von Industrie 4.0, insbesondere mit Bezug auf mittelständische Unternehmen. Ein weiteres Kapitel diskutiert mögliche Folgen der Automatisierung auf dem Arbeitsmarkt mit einem speziellen Teilkapitel zu Dienstleistungen.

2 Patent- und Publikationsanalysen zu Robotik und Automatisierung

2.1 Patentanalysen

Die Patentanalysen wurden in der Datenbank World Patents Index (WPI) des Anbieters Thomson-Reuters in der Version des Hosts STN durchgeführt. Diese Datenbank weist gegenüber amtlichen Patentdatenbanken den Vorteil auf, dass sie durch Experten erstellte technische Abstracts enthält, was zu verbesserten Ergebnissen bei Stichwortrecherchen führt. Bei Stichworten wie „Graphene“ ist der Ertrag bei WPI etwa 40 Prozent höher als bei PATSTAT, die nur die amtlichen Abstracts enthält.

Die Recherchen wurden für den Zeitraum 2000 bis 2012 durchgeführt, da die Daten für das Prioritätsjahr 2013 nur in geringen Teilen vorlagen, die eine aussagefähige Hochrechnung nicht ermöglicht hätten.

2.1.1 Suchstrategie der Patentanalysen zur Robotik

Die Patentanalysen zur Robotik wurden zum einen mit der IPC-Unterklasse B25J (Manipulatoren) und zum anderen mit dem Stichwort robot? (? = offene Maskierung) unter Ausschluss des Symbols A63H (Spielzeugroboter) durchgeführt. Der Code B25J bezieht sich relativ eng auf die mechanische Ausgestaltung von Robotern, während mit der Stichwortsuche eine breitere Erfassung von Anwendungsbereichen und Steuerungen möglich ist.

Es wurden sogenannte Transnationale Patentanmeldungen untersucht, d. h. Patentanmeldungen beim Europäischen Patentamt (EPA) oder internationale Anmeldungen nach dem PCT-Verfahren, um aussagefähige Ländervergleiche zu ermöglichen.² Durch die Einbeziehung von PCT-Anmeldungen ergeben sich insbesondere realistische Zahlen für südostasiatische Länder, die nur bedingt Anmeldungen in Europa tätigen.

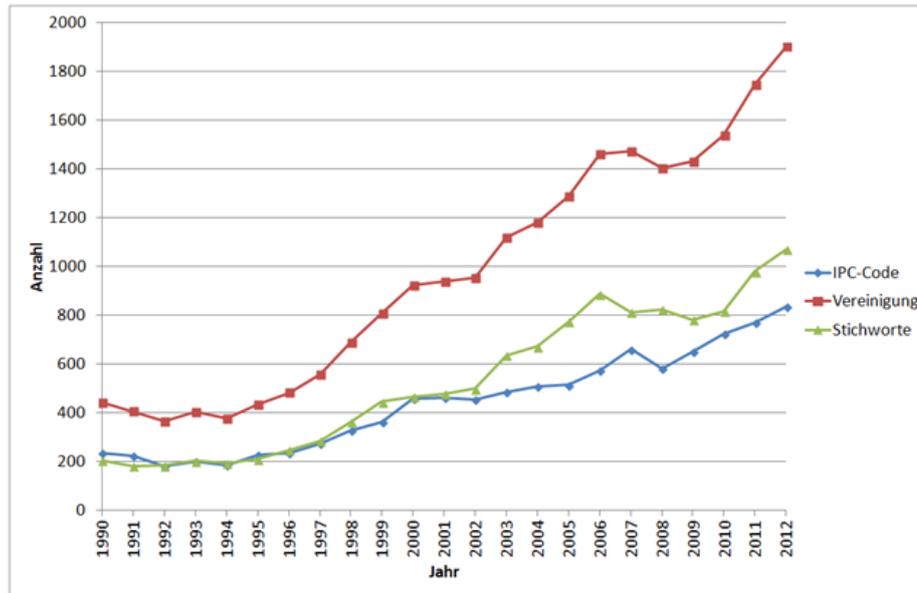
2.1.2 Ergebnisse der Patentanalysen zur Robotik

Bei den Recherchen zur Robotik ergeben sich für die IPC- und die Stichwortsuche ein etwa gleiches Niveau, bei der Vereinigungsmenge allerdings fast doppelt so hohe Zahlen (Abbildung 2-1). Bemerkenswert ist, dass bei diesem relativ alten Gebiet, die ersten

² Frietsch und Schmoch (2010).

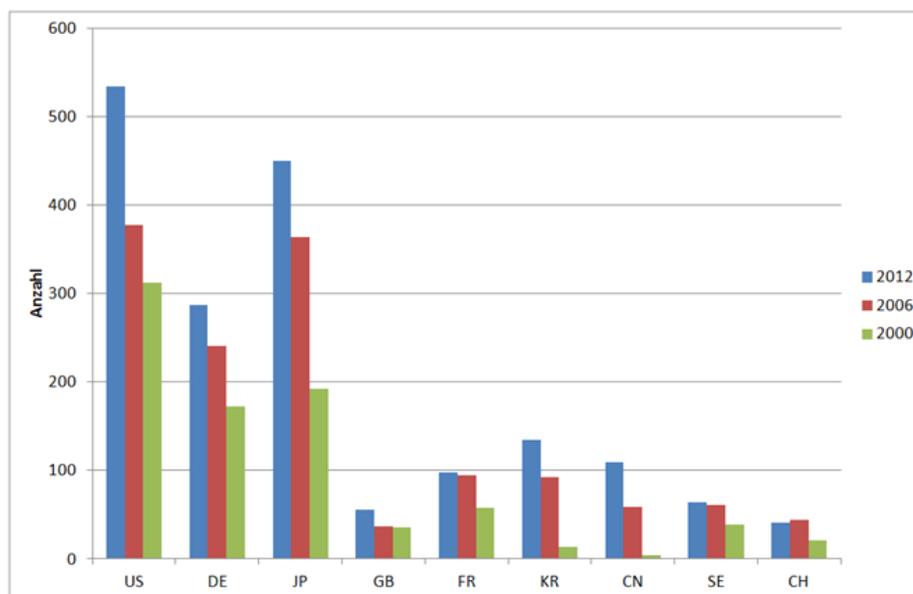
Anmeldungen stammen von 1970,³ nach wie vor ein stetiges Wachstum der Anmeldezahlen zu verzeichnen ist.

Abbildung 2-1: Robotik: Transnationale Patentanmeldungen



Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen

Abbildung 2-2: Robotik: Länderverteilung bei Transnationalen Patentanmeldungen



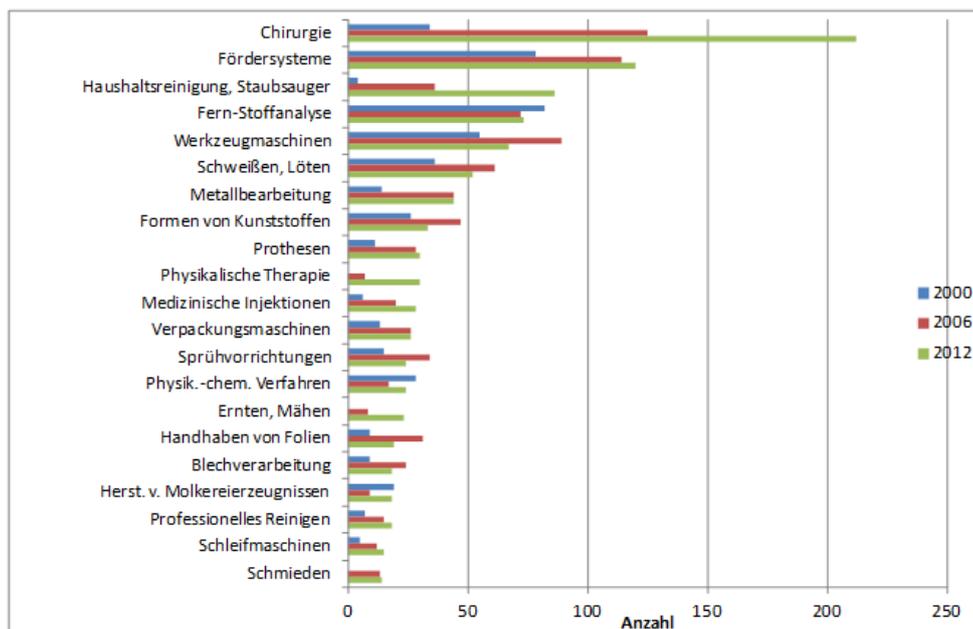
Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen

³ Schmoch (2007).

Im Ländervergleich stehen die USA, Japan und Deutschland in führender Stellung, wobei aktuell das Wachstum in den USA besonders stark ist (Abbildung 2-2). Hinzuweisen ist auf die hohen Anmeldezahlen von Südkorea und China im Vergleich zu Großbritannien und Frankreich.

Bei der Differenzierung der Patentanmeldungen nach IPC-Unterklassen tritt aufgrund der stichwortbasierten Suchstrategie eine Reihe von Anwendungsbereichen von Robotern hervor. An erster Stelle stehen mit stark wachsender Tendenz Anmeldungen zur Chirurgie, ein Bereich, der mit großen finanziellen Erwartungen verknüpft ist (Abbildung 2-3). Stark aufstrebend sind auch Roboter im Haushaltsbereich, während die professionelle Reinigung, etwa von Fenstern, bei den Patentanmeldungen noch ein niedriges Niveau hat. Mehrere Anwendungsbereiche beziehen sich auf die industrielle Produktion, wobei die Zahl der Anwendungen zunimmt. Eine noch niedrige, aber wachsende Aktivität ist in der Landwirtschaft (Ernten, Mähen, Molkerei) zu beobachten. Die Feinstoffanalyse betrifft vor allem die Schadstoffanalyse in verseuchtem Gelände. Auffällig ist, dass in einigen Bereichen die Zahl der Anmeldungen aktuell nach einem Maximalwert in 2006 wieder rückläufig ist (z. B. Werkzeugmaschinen, Schweißen/Löten, Formen von Kunststoffen, Sprühvorrichtungen, Handhaben von Folien), dass also bestimmte Anwendungen in einem begrenzten Zeitraum erschlossen werden. Hinter dem generellen Wachstum der Patentanmeldungen steht letztlich die Öffnung immer neuer Anwendungsmöglichkeiten.

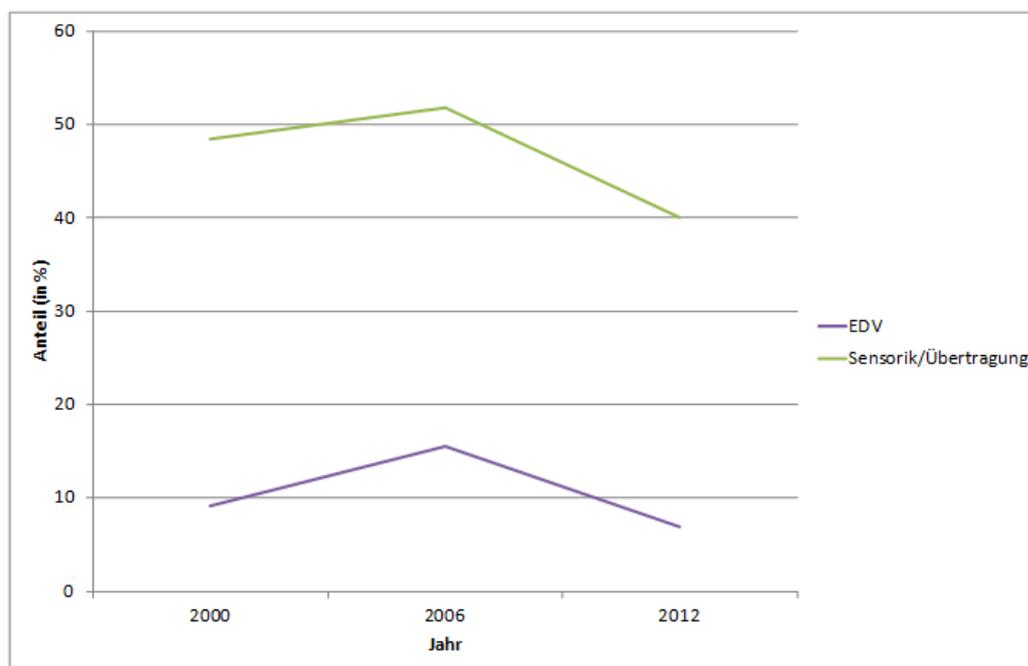
Abbildung 2-3: Robotik: Zuordnung von Transnationalen Patentanmeldungen zu Patentunterklassen



Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen

Ein wesentliches Merkmal von Robotern ist die Kombination von mechanischen Elementen und der Steuerung durch integrierte Informationstechnik. Bei den Patentanmeldungen ist der Anteil von IPC-Unterklassen, die im engen Sinn der Datenverarbeitung zuzuordnen sind, mit etwa 10 Prozent moderat (Abbildung 2-4). Dagegen spielt die Sensorik und Datenübertragung mit einem Anteil von etwa 40 Prozent eine erhebliche Rolle, die eine Erfassung der Umweltbedingungen und eine entsprechende Steuerung der Roboter ermöglichen. Diese ist nur mit einer leistungsfähigen EDV umsetzbar.

Abbildung 2-4: Robotik: Anteil von EDV und Sensorik/Übertragung an allen Robotik-Anmeldungen



Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen und Berechnungen

2.1.3 Suchstrategie der Patentanalysen zur Automatisierung

Die Patentanalysen zur Automatisierung basieren auf einer Recherche mit der IPC-Klasse G05 (Steuern, Regeln) und ergänzend einer Stichwortrecherche mit automat? (? = Offene Maskierung). Einen originären IPC-Code zur Automatisierung gibt es nicht; die Klasse zu Steuern/Regeln beschreibt lediglich einen zentralen Bereich der Automatisierung.

Insbesondere existiert keine spezielle EDV-Klasse zu Industrie 4.0 ähnlich der Unterklasse G06Q (Datenverarbeitungssysteme oder -verfahren, besonders angepasst an verwaltungstechnische, geschäftliche, finanzielle oder betriebswirtschaftliche Zwecke, sowie an geschäftsbezogene Überwachungs- oder Voraussagezwecke). Zur Erfassung von

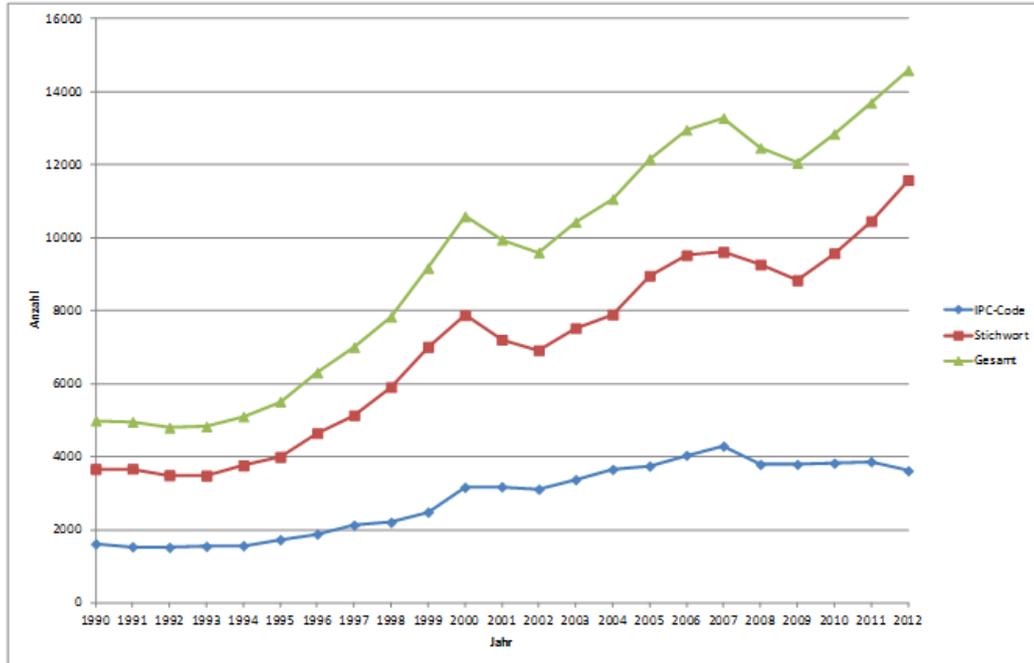
Industrie 4.0 müssten verschiedene technische Einzelaspekte wie Kommunikation zwischen Maschinen, Sensorik, Embedded Systems, Aktorik etc. untersucht und zusammengeführt werden. Der Begriff der Automatisierung wird in einzelnen relevanten Dokumenten auftreten, aber die Thematik nur unzureichend abbilden. Das Entwickeln einer angemessenen Suchstrategie für Industrie 4.0 würde den Rahmen dieser Studie überschreiten.

2.1.4 Ergebnisse der Patentanalysen zur Automatisierung

Da die IPC-Klasse G05 nur einen wichtigen Teilaspekt von Automatisierung erfasst, ist die Ergebnismenge zur Stichwortrecherche deutlich größer (Abbildung 2-5). Die Ergebnismenge liegt etwa um eine Größenordnung über der zur Robotik; die Zahlen wachsen ähnlich dynamisch an.

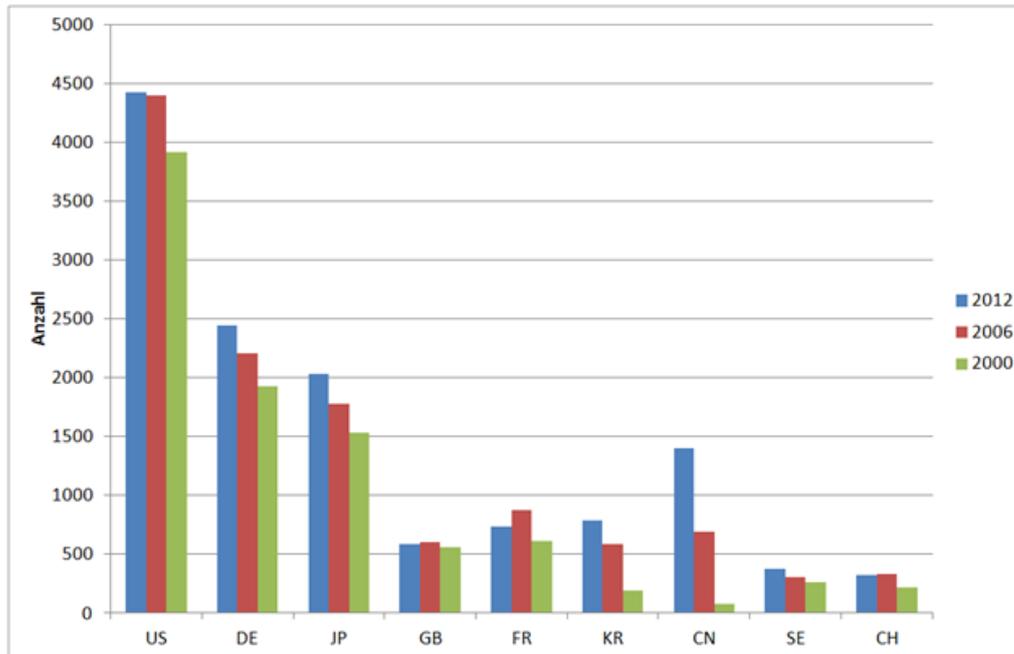
Im Ländervergleich haben die USA eine mit Abstand führende Position. Deutschland liegt an zweiter Stelle, gefolgt von Japan, dessen Position bei Robotern deutlich stärker ist (Abbildung 2-6). Auffallend sind die aktuell hohen Anmeldezahlen von China, während hier Korea weniger hervortritt.

Abbildung 2-5: Automatisierung: Transnationale Patentanmeldungen



Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen

Abbildung 2-6: Automatisierung: Länderverteilung bei Transnationalen Patentanmeldungen

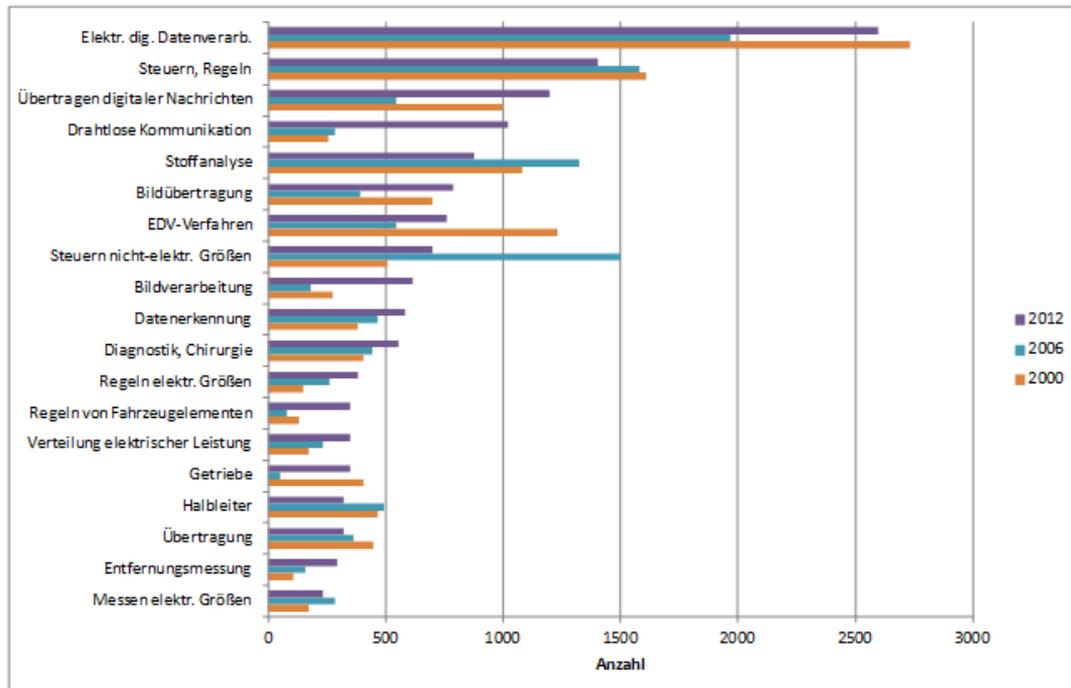


Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen

Bei der Betrachtung der Patentunterklassen zur Automatisierung liegt der Schwerpunkt bei der Automatisierungstechnik als solcher (EDV, Steuern/Regeln, Datenerkennung usw.), während Anwendungsbereiche (Stoffanalyse, Diagnostik/Chirurgie, Getriebe Regeln von Fahrzeugelementen usw.) weniger stark in Erscheinung treten. Auch die Robotik tritt auf, jedoch auf niedrigem Niveau, und erscheint daher nicht in der Abbildung 2-7. Eine Übereinstimmung zur Robotik ist die Relevanz von Diagnostik/Chirurgie. Der Bereich „Produktionstechnik“ ist bemerkenswerter Weise (noch) nicht prominent vertreten.

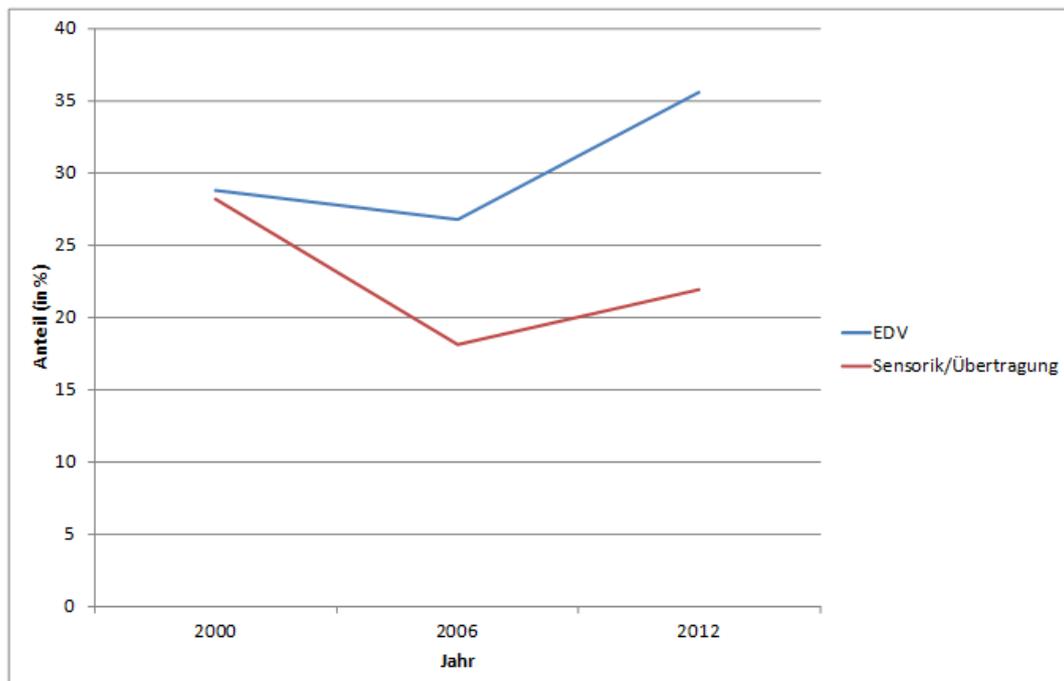
Der Anteil der EDV an allen Automatisierungsanmeldungen liegt mit aktuell mehr als 35 Prozent deutlich über dem Niveau in der Robotik (Abbildung 2-8). Die größeren und kostengünstigeren Möglichkeiten der EDV werden in der Automatisierung intensiv genutzt und verbessert. Bei Sensorik/Übertragung steht die Übertragung im Vordergrund. Es geht darum, erhobene Daten in sinnvoller Weise für die weitere Auswertung zusammenzuführen.

Abbildung 2-7: Automatisierung: Zuordnung von Transnationalen Patentanmeldungen zu Patentunterklassen



Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen

Abbildung 2-8: Automatisierung: Anteil von EDV und Sensorik/Übertragung an allen Automatisierungs-Anmeldungen



Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen und Berechnungen

2.2 Publikationsanalysen

Die Publikationsanalysen wurden in der Online-Version der Datenbank Web of Science (WoS) und hier der Teildatenbank Scisearch für Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie Medizin durchgeführt. Anbieter ist Thomson Reuters, es wurde die Version des Hosts STN International genutzt.

Die Datenbank WoS hat die Zahl der abgedeckten Publikationen seit dem Jahr 2000 durch den Wettbewerb mit der Datenbank Scopus von Elsevier erheblich vergrößert.⁴ Allerdings ist auch jetzt noch im Bereich Maschinenbau die Abdeckung deutscher Autoren unzureichend, was zu einer leichten Einschränkung der Publikationszahlen zur Robotik führen könnte.

2.2.1 Suchstrategie der Publikationsanalysen zur Robotik

Die Suchstrategie zur Robotik bei den Publikationsanalysen beruht zum einen auf Publikationen in dem Category Code „robotics“ des Web of Science und zum anderen auf einer Stichwortrecherche mit „robot?“ (? = offene Maskierung). Eine Ergänzung der Recherche mit dem Category Code ist sinnvoll, weil dieser nicht einzelne Artikel, sondern Zeitschriften erfasst, die überwiegend zu Robotik publizieren. Aber nicht jeder Artikel befasst sich dort notwendig mit Robotik und auch in anderen Zeitschriften kann es Publikationen zur Robotik geben. In jedem Fall erfasst die Strategie wichtige Entwicklungen in der Robotik zutreffend.

2.2.2 Ergebnisse der Publikationsanalysen zur Robotik

Bei den Zeitreihen zu Publikationen in Robotik zeigt sich bei den Stichwortrecherchen ein erheblich höherer Ertrag als mit dem Category Code, mit einer deutlichen Überschneidung beider Ansätze (Abbildung 2-9). Danach sind die mit dem Category Code gefundenen Publikationen offensichtlich zutreffend, aber der eigentliche Ertrag findet sich außerhalb des Codes. Ähnlich wie bei Patenten (Abbildung 2-1), steigen die Zahlen seit 2000 deutlich an, d. h. auch im wissenschaftlichen Bereich ist dieses „alte“ Gebiet nach wie vor ein wichtiges Thema. Das Wachstum dürfte etwa zur Hälfte mit der breiteren Erfassung von Publikationen in WoS zurückzuführen sein (Michels und Schmoch 2012), ist aber auch nach Berücksichtigung dieses Effekts noch ausgeprägt.

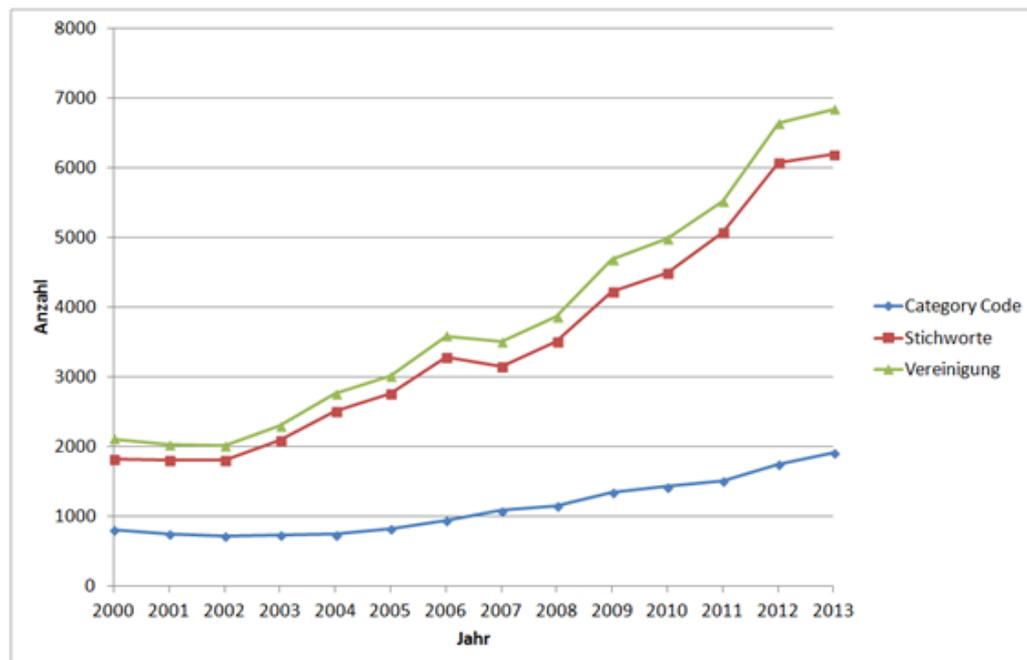
Bei den Herkunftsländern der Publikationen zur Robotik stehen die USA mit großem Abstand und wachsenden Zahlen an der ersten Stelle (Abbildung 2-10). Anders als bei

⁴ Vgl. Michels und Schmoch (2012).

Patenten (Abbildung 2-2) hat Deutschland nach einem starken Zuwachs am aktuellen Rand eine höhere Zahl von Publikationen als Japan. Die relativ hohen Zahlen von Großbritannien dürften zu einem großen Teil auf den Sprachbias von WoS zugunsten englischsprachiger Länder zurückgehen. Bemerkenswert sind die relativ zu Deutschland hohen Zahlen von Frankreich und vor allem Südkorea und noch stärker China. Bei China ist von einer langfristigen Strategie auszugehen, qualifizierte Fachkräfte für die Robotik auszubilden, um sich dann stärker in der industriellen Anwendung engagieren zu können.

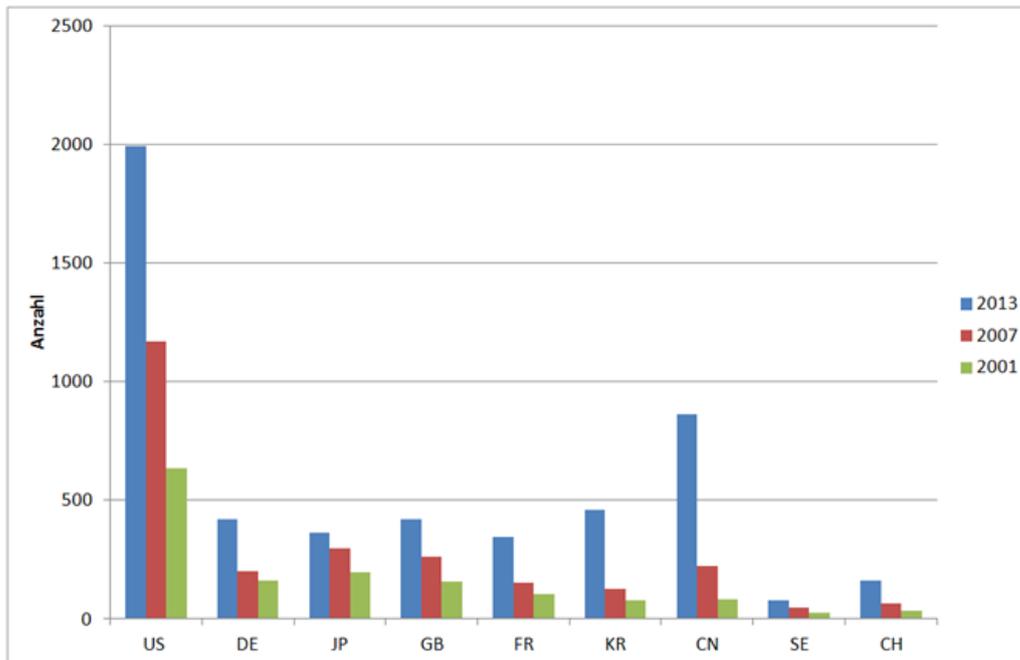
Bei der Zuordnung der Publikationen zu Category Codes fällt der erhebliche Anteil medizinischer Codes ins Auge (Abbildung 2-11). Im Zentrum steht die Chirurgie, bei Onkologie oder Urologie geht es letztlich um hochpräzise Chirurgie. Durch den Code „Automation & control systems“ wird der enge Zusammenhang zur Automatisierung deutlich, die Kategorie „Computer science“ gewinnt aktuell wieder mehr Gewicht, was ebenfalls für „Instruments“, die auch Sensoren umfassen, zutrifft.

Abbildung 2-9: Robotik: Publikationen im Web of Science (WoS)



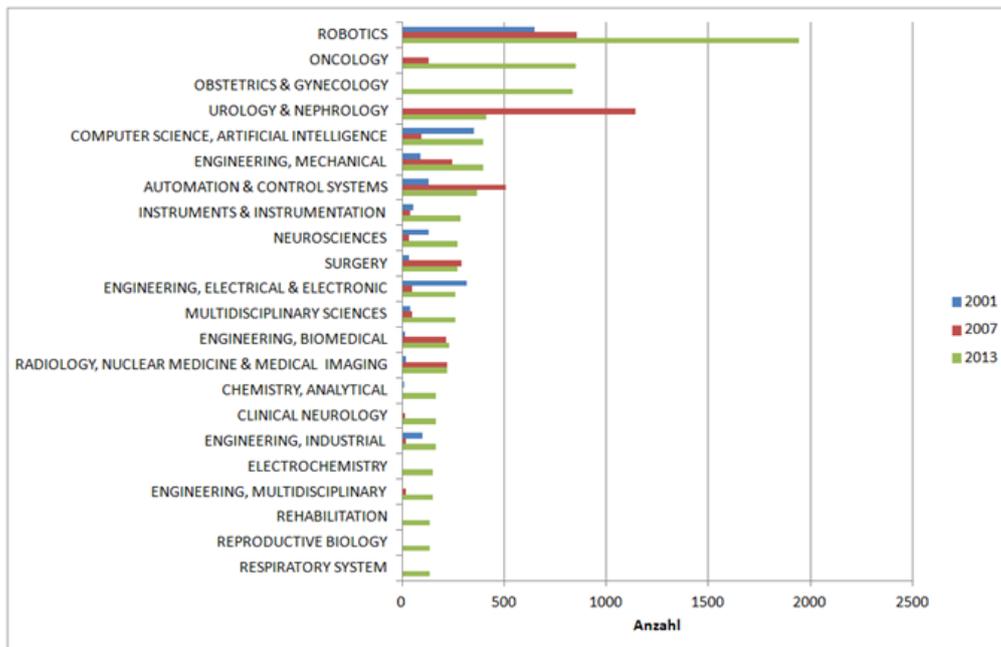
Quelle: Scisearch (STN), eigene Recherchen

Abbildung 2-10: Robotik: Länderverteilung bei Publikationen



Quelle: Scisearch (STN), eigene Recherchen

Abbildung 2-11: Robotik: Zuordnung von Publikationen zu Kategorien in WoS



Quelle: Scisearch (STN), eigene Recherchen

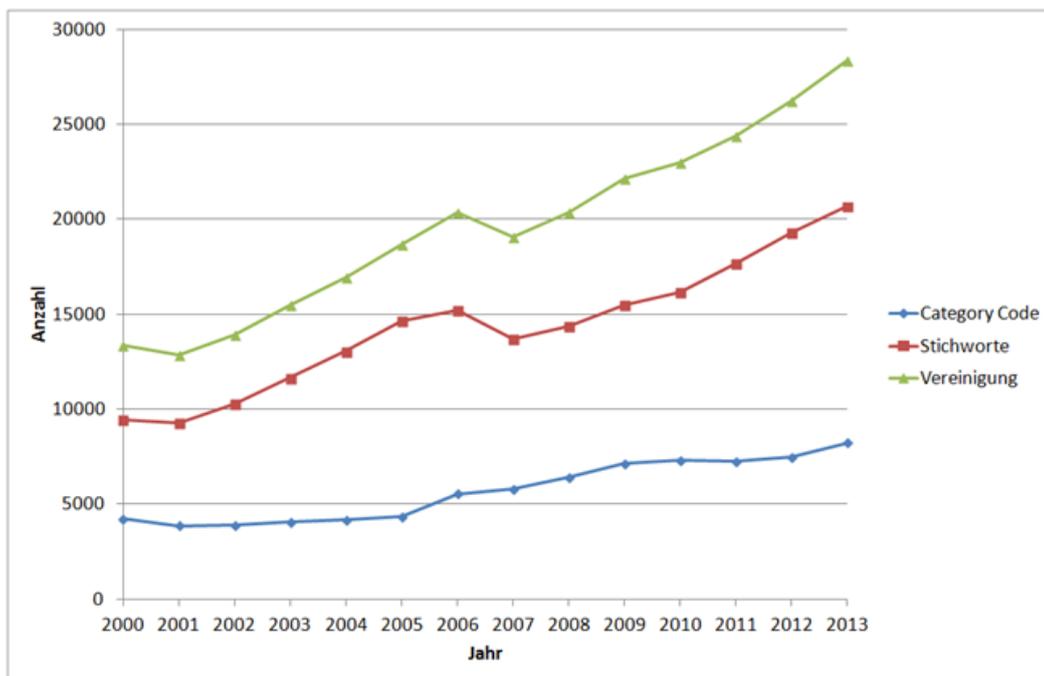
2.2.3 Suchstrategie der Publikationsanalysen zur Automatisierung

Die Suchstrategie bei Publikationen zur Automatisierung beruht zum einen auf dem Category Code „Automation and control systems“, zum anderen auf dem Stichwort „automat?“ (? = Offene Maskierung). Auch hier dient, ähnlich wie bei der Robotik, die Stichwortrecherche dazu, das Thema breit außerhalb der einschlägigen Zeitschriften zu erfassen.

2.2.4 Ergebnisse der Publikationsanalysen zur Automatisierung

Bei der Betrachtung der Publikationszahlen ist zunächst einmal herauszustellen, dass die absoluten Zahlen klar über denen der Robotik liegen, bei der Robotik am aktuellen Rand bei knapp 7.000 Publikationen, bei der Automatisierung bei fast 30.000 (Abbildung 2-12). Auch hier liegt der Rechercheertrag für Stichworte klar über dem für den Category Code. Der Anstieg im Zeitverlauf ist erheblich und ein Ende des Anstiegs ist nicht absehbar.

Abbildung 2-12: Automatisierung: Publikationen im Web of Science (WoS)

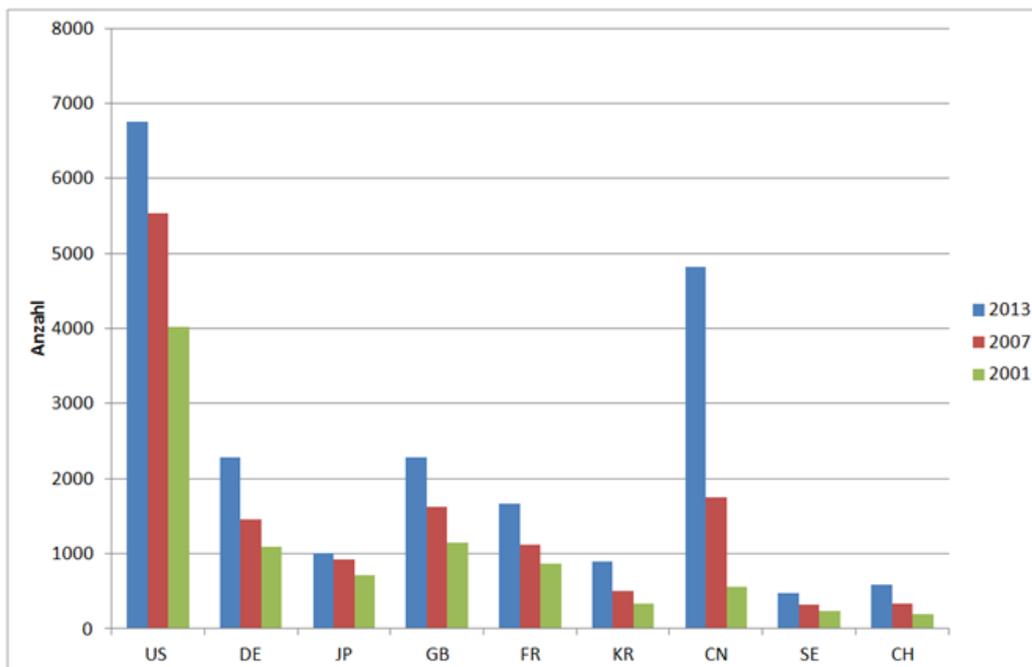


Quelle: Scisearch (STN), eigene Recherchen

Bei den Herkunftsländern liegen die USA mit steigender Tendenz auf dem ersten Platz. Deutschland dürfte auf der zweiten Position liegen, wenn der Sprachbias zu Gunsten von Großbritannien in Rechnung gestellt wird (Abbildung 2-13). Japan ist relativ schwach vertreten. Auch Südkorea ist beim Thema Automatisierung unscheinbar, wogegen das massive Engagement von China augenfällig ist.

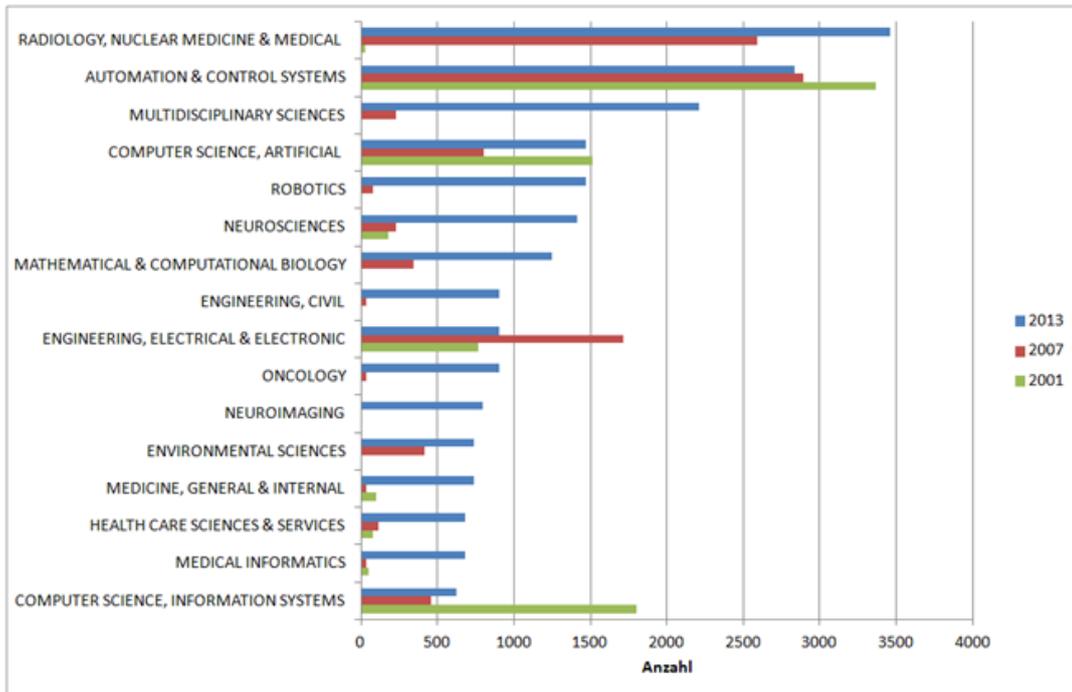
Die Differenzierung nach Category Codes zeigt wie schon bei den Patenten einen Schwerpunkt auf technischen Fragen der Automatisierung („Automation & control systems“, „computer science“, „robotics“, „electrical engineering“ usw.), während bei Anwendungen mit „radiology“ wieder ein medizinisches Feld im Vordergrund steht (Abbildung 2-14). Wie schon bei den Patenten erweist sich die Produktionstechnik nicht als ein zentraler Bereich, allenfalls vermittelt über „robotics“.

Abbildung 2-13: Automatisierung: Länderverteilung bei Publikationen



Quelle: Scisearch (STN), eigene Recherchen

Abbildung 2-14: Automatisierung, Zuordnung von Publikationen zu Kategorien in WoS



Quelle: Scisearch (STN), eigene Recherchen

2.3 Spezialisierungen in der Robotik

Um die Stärken und Schwächen Deutschlands in der Robotik im Vergleich zu den wichtigsten Wettbewerbsländern besser abschätzen zu können, wurden diese nach Teilfeldern differenziert zum einen nach Roboteranwendungen, zum anderen nach ausgewählten Technologien.

Bei den Anwendungen waren dies

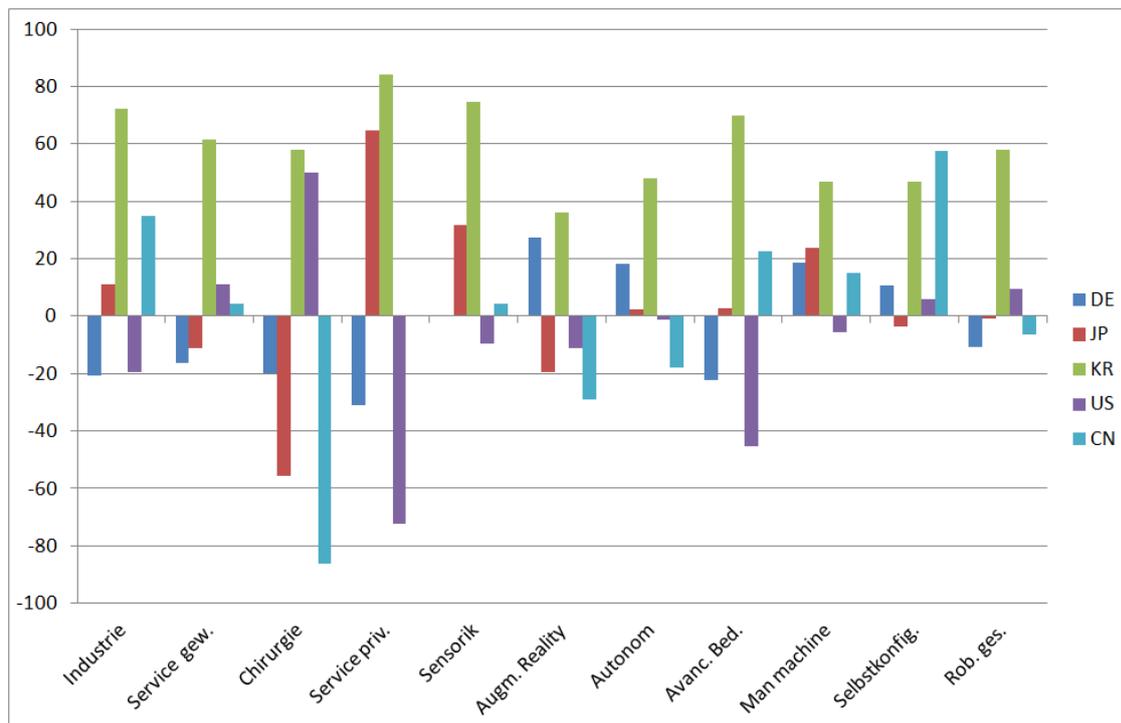
- Industrieroboter,
- Serviceroboter, gewerblich,
- Roboter in der Chirurgie,
- Serviceroboter, privat.

Die Roboter in der Chirurgie, die grundsätzlich zu den gewerblichen Servicerobotern gehören, wurden wegen der Größe des Gebiets gesondert erfasst, damit die Ergebnisse bei Servicerobotern nicht von Chirurgierobotern dominiert werden. Bei der Technologie wurde unterschieden nach

- Sensorik,
- Augmented Reality,
- Autonome Roboter,
- Avancierte Bedienung,
- Mensch-Maschine-Kooperation,
- Selbstkonfiguration.

Die entsprechenden Zahlen zu Transnationalen Patenten und WoS-Publikationen waren teilweise für statistisch belastbare Aussagen auf einer jährlichen Basis zu niedrig, weshalb eine Auswertung nach den Zeiträumen 1991-1995, 2000-2004 sowie 2009-2013 vorgenommen wurde, bei Patenten nach Prioritätsjahren, bei Publikationen nach Jahr der Einreichung. Aus diesen Erhebungsdaten lassen sich Spezialisierungen für Publikationen und Patente nach Abbildung 2–15 und Abbildung 2–16 errechnen.⁵

Abbildung 2–15: Spezialisierungen bei Publikationen zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldern, 2009-13

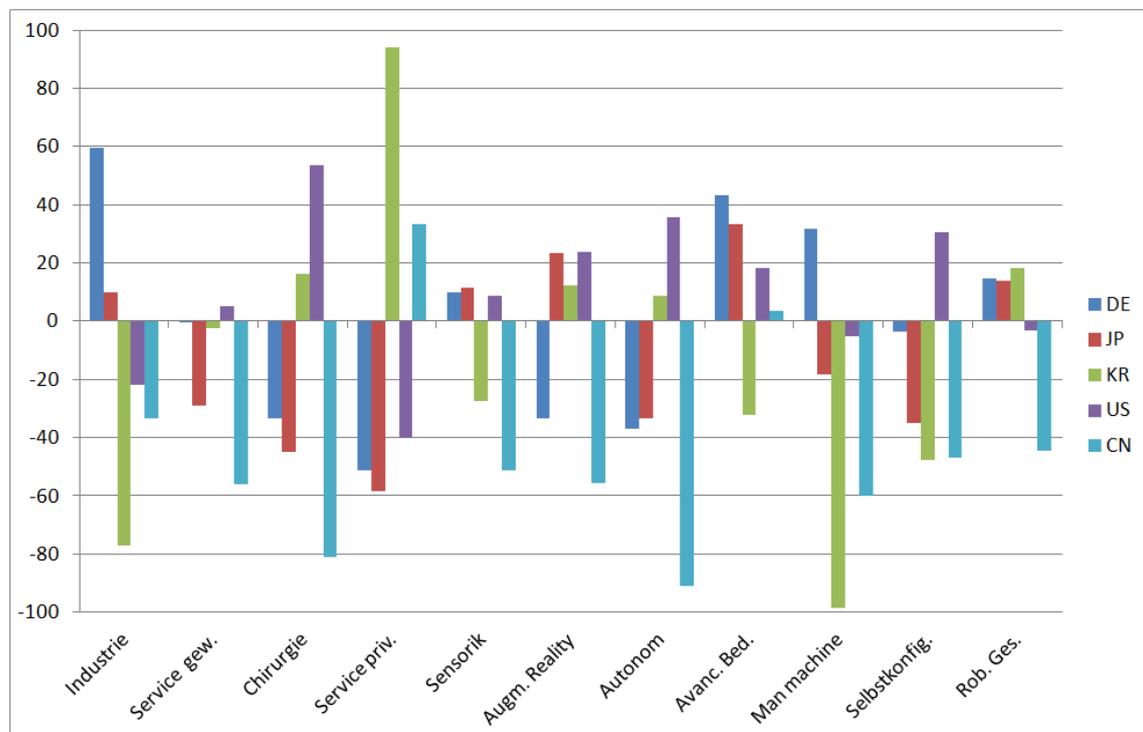


Quelle: Scisearch (STN), eigene Berechnungen

⁵ Die Erhebungsdaten sind in Anhang III dokumentiert.

Im Ergebnis fällt zunächst die hohe Spezialisierung bei den Publikationen Koreas bei allen Anwendungen und Teilgebieten auf und bei einzelnen Bereichen ist auch die Spezialisierung Chinas überproportional. In der Chirurgie treten die USA und Korea stark hervor, während die Orientierung Deutschlands auf diese Anwendung mäßig ist. In Japan gibt es deutliche Spezialisierungen auf Industrieroboter und private Serviceroboter. Deutschland liegt bei den Anwendungen im internationalen Vergleich auf einem unterdurchschnittlichen Niveau und bei den technologischen Teilgebieten liegt der Fokus auf autonomen Systemen und der Mensch-Maschine-Kooperation.

Abbildung 2–16: Spezialisierungen bei Transnationalen Patenten zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldern, 2009–2013



Quelle: WPI (STN), eigene Berechnungen

Die Spezialisierung bei Patenten entspricht nur teilweise der bei Publikationen. Dabei ist eine zeitliche Abfolge im Sinne von Publikationen als geplante Umsetzung und Patente als aktuelle Umsetzung anzunehmen. In Deutschland liegt bei Patenten der klare Fokus auf Industrierobotern, bei den technologischen Teilgebieten stehen avancierte Bedienung und Mensch-Maschine-Kooperation im Vordergrund. In Japan sind bei den Anwendungen Industrieroboter durchschnittlich und Serviceroboter klar unterdurchschnittlich, außerdem liegt ein Fokus auf der avancierten Bedienung. In den USA ist die Spezialisierung bei Industrierobotern unterdurchschnittlich und in der Chirurgie deutlich positiv. Außerdem sind die Indices in vielen der avancierten Technologien wie Sen-

sorik, Augmented Reality, Autonomie, avancierte Bedienung oder Selbstkonfiguration überdurchschnittlich.

Vor dem Hintergrund der breit positiven Indices bei Publikationen fällt der negative Wert bei Patenten bei Industrierobotern auf, bei Servicerobotern ist er zumindest durchschnittlich und in der Chirurgie positiv. Ein klarer Schwerpunkt liegt auf privaten Servicerobotern.

Bei China sind die Patentspezialisierungen insgesamt schwach, sodass die deutlich positiveren Werte bei Publikationen als ein Hinweis für zukünftige Entwicklungen bei Patenten gesehen werden müssen.

2.4 Wesentliche Ergebnisse

Ein bemerkenswertes Ergebnis der Patent- und Publikationsanalysen zur Robotik ist, dass auch bei diesem „alten“ Gebiet mit ersten Patentanmeldungen in den 1970er-Jahren die Zahlen der Patentanmeldungen und die der wissenschaftlichen Publikationen nach wie vor steigen. Auffällig am aktuellen Rand ist die relevante Zahl der Patentanmeldungen aus Südkorea und China, bei Publikationen steigen die Zahlen für China stark an. Dieses zeigt die erheblichen Investitionen in die Ausbildung von hochqualifizierten Fachkräften für die Robotik, was in einigen Jahren zu steigenden Patentzahlen führen dürfte.

Bei der Betrachtung der Inhalte der Robotik zeigt sich aktuell eine Erschließung immer neuer Anwendungsfelder wie Landwirtschaft, industrielle und private Reinigungsarbeiten, Chirurgie oder komplexe Handhabung. Diese neuen Anwendungen sind der Grund für die stetig steigenden Patent- und Publikationszahlen. Sie werden durch eine leistungsfähigere, kompaktere und kostengünstigere EDV-Technik ermöglicht, wobei die Erfassung von Umweltbedingungen durch Sensoren und entsprechende Reaktionen im Mittelpunkt stehen.

Bei der Automatisierung ist Südkorea weder bei Patenten noch bei Publikationen ähnlich präsent wie bei Robotern. China ist auch hier bei Patenten prominent vertreten und zeigt eine erhebliche Zahl von Publikationen. Bei den Inhalten der Patente und Publikationen stehen Probleme der Datenverarbeitung und der Sensorik im Vordergrund. Die Produktionstechnik, die im Kontext von Industrie 4.0 zentral ist, ist dagegen nicht relevant vertreten. Dieses könnte damit zusammenhängen, dass es bei Industrie 4.0 weniger um die Automatisierung einzelner Geräte als vielmehr die Koordination von Gesamtsystemen geht und damit technische Fragen der digitalen Übertragung und EDV-Verfahren im Vordergrund stehen.

Eine genauere Betrachtung der Spezialisierungen bei Publikationen und Patenten bei Robotern ergibt für Deutschland bei Patenten einen Fokus auf Industrieroboter, während Serviceroboter und Chirurgieroboter unterdurchschnittliche Indices aufweisen und nach den Werten für Publikationen auch für die Planung kein relevantes Thema sind.

Bei den Robotern liegt ein klarer Fokus der USA auf der Chirurgie und im internationalen Vergleich ist die Stellung auch bei gewerblichen Servicerobotern führend.

Auch bei Korea sind die Patentspezialisierungen bei gewerblichen Servicerobotern und Chirurgie bemerkenswert und vor allem bei privaten Servicerobotern stark überdurchschnittlich. Die hohen Indices bei Publikationen in allen Bereichen deuten darauf hin, dass ein noch stärkeres Engagement in der Robotik beabsichtigt ist.

Japan konzentriert sich bei Patenten auf Industrieroboter, starke Publikationsindices bei privaten Servicerobotern lassen hier für die Zukunft ein stärkeres Engagement auch bei Patenten vermuten. Ansonsten ist Japan in vielen avancierten Technologien aktiv und ist bestrebt, hier im internationalen Wettbewerb mitzuhalten.

Ein Sonderfall ist China. Die Indices sind, außer bei privaten Servicerobotern, (noch) schwach und auch bei den Publikationen sind die Indices mäßig. Allerdings lassen positive Werte bei Industrierobotern und Selbstkonfiguration bei Publikationen auf eine stärkere Aktivität bei Patenten schließen.

3 Quantitative Analysen zu Robotik und Automation im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands

3.1 Quantitative Datenbasis

Die folgenden Ergebnisse basieren zum Großteil auf Analysen der Daten der Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012. Diese breiteste Erfassung von Modernisierungstrends im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands wird regelmäßig seit 1995 durchgeführt und adressiert zufällig ausgewählte Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes mit mindestens 20 Beschäftigten. Die im Rahmen einer schriftlichen Befragung von Produktionsverantwortlichen bzw. technischen Leitern erfasste repräsentative Stichprobe von jeweils rund 1.500 Betrieben gibt Aufschluss über den Stand und die Entwicklung wichtiger Indikatoren in unterschiedlichen Innovationsfeldern und Modernisierungsbereichen. Dazu gehören der Einsatz innovativer Organisations- und Technikkonzepte in der Produktion, Verlagerungs- und Outsourcing-Strategien der Betriebe sowie neue Geschäftsmodelle zur Ergänzung des Produktangebots um innovative Dienstleistungen. Zentrale Treiber und Stellhebel des Erfolgs verschiedener Innovations- und Organisationsstrategien können in detaillierten Analysen fundiert bestimmt werden. Die Datenbasis deckt die Strukturen des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland umfassend ab und erlaubt damit valide Aussagen zu den für diese Studie relevanten Aspekten sowie Schlussfolgerungen über das Verarbeitende Gewerbe.

3.1.1 Betriebsdaten *Modernisierung der Produktion* 2012

An der letzten Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012 haben 1.594 Betriebe des deutschen Verarbeitenden Gewerbes teilgenommen. Zielgruppe der Umfrage *Modernisierung der Produktion* 2012 war die Gesamtheit der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in der Bundesrepublik Deutschland. In der Begrifflichkeit der amtlichen Statistik (WZ08) deckt die Erhebung damit die Wirtschaftsklassen 10 bis 33 ab. Die Grundgesamtheit des Verarbeitenden Gewerbes umfasst 43.544 Betriebe (Statistisches Bundesamt 2011a).

Jeder dritte Industriebetrieb wurde angeschrieben, sich an der Erhebung zu beteiligen, adressiert waren insgesamt 15.420 Betriebe. Die Stichprobe ergibt sich aus einer proportional geschichteten Zufallsziehung, wobei die Schichtung anhand der Merkmale Anzahl Beschäftigter und Branchengruppe ausgehend von der Verteilung in der amtlichen Statistik gebildet wurde. In diesem Sinne kann von einer repräsentativen Bruttostichprobe gesprochen werden.

Bei einer Rücklaufquote von etwa 10 Prozent stellt sich trotzdem die Frage nach einer verzerrten Abbildung der Grundgesamtheit in der Datenbasis. Für eine Bewertung der Güte der Erhebung bietet sich daher an, die Verteilungen von Branchenzugehörigkeit des Betriebes, Betriebsgröße und regionaler Lage (Bundesland) auf Basis der Daten des Statistischen Bundesamtes von 2010 (Statistisches Bundesamt 2011a, 2011b) zu prüfen.

Die Dokumentation der Datenbasis (Jäger und Maloca 2013) zeigt, dass die realisierte Stichprobe hinsichtlich der Branchenverteilung nur unwesentlich von der Grundgesamtheit abweicht. Fast alle Branchengruppen sind genau proportional zu ihrem Anteil in der Grundgesamtheit im Datensatz vertreten. Lediglich der Rücklauf bei Betrieben des Ernährungsgewerbes und Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen fiel unterdurchschnittlich aus. Hinsichtlich der regionalen Verteilung der befragten Betriebe kann festgehalten werden, dass die Datenbasis der Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012 eine sehr gute Repräsentation der regionalen Verteilung des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland bietet (vgl. Anhang AI-1 und Anhang AI-2).

Schließlich ist festzuhalten, dass die realisierte Stichprobe neben den großen Betrieben auch die kleinen Betriebe sehr gut repräsentiert. Mit rund 65 Prozent machen die Betriebe mit weniger als 100 Beschäftigten mehr als die Hälfte der realisierten Stichprobe aus. Mittelgroße Betriebe stellen 33 Prozent und große Betriebe (mehr als 1.000 Beschäftigte) 3 Prozent der antwortenden Firmen. Trotz dieser starken Repräsentation der kleinen Betriebsgrößen ist im Vergleich zur Grundgesamtheit immer noch eine Unterrepräsentation der Betriebe mit bis zu 49 Beschäftigten zu konstatieren. Dieser Befund ist allerdings kein Spezifikum der Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, vielmehr deckt sich dieses Ergebnis mit in Reichweite und Thematik vergleichbaren Betriebsbefragungen (vgl. Anhang AI-3). Angesichts der Problematik bei der Gewichtung einer Datenbasis zur Verbesserung der Repräsentativität, dem transparenten Stichprobenverfahren sowie der guten Repräsentation entlang sonstiger bekannter Merkmale wird von der Verwendung von Globalgewichten abgesehen.

Als Fazit lässt sich **festhalten**, dass die Datenbasis der Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012 ermöglicht, fundierte Aussagen für die Gesamtheit des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland zu treffen. Da neben Merkmalen zum Innovationsverhalten auch Strukturmerkmale Teil der Erhebung sind, können nicht nur einzelne Ausprägungen untersucht, sondern strukturelle Zusammenhänge analysiert werden. Damit stellt die Erhebung eine einzigartige Basis für detaillierte Analysen zu Modernität und Leistungskraft im Verarbeitenden Gewerbe dar.

3.1.2 IFR-Daten

Die International Federation of Robotics (IFR) erhebt regelmäßig Daten zur Nutzung und Verbreitung von Robotern. Sie unterscheidet Service- und Industrieroboter, wobei Letztere in diesem Kapitel im Fokus der Untersuchung stehen.

Die IFR erhebt und konsolidiert Verkaufszahlen von Industrierobotern, die von weltweit fast allen Herstellern von Industrierobotern aufgliedert nach unterschiedlichen Kriterien (Land, Branche, Anwendungsbereich etc.) bereitgestellt werden. Sofern von den Roboterherstellern keine Daten vorliegen, zieht die IFR Daten heran, die von nationalen Robotik- und Roboterhersteller-Verbänden zur Verfügung gestellt werden.

In Summe stellt die IFR die nationalen Verkaufszahlen von über 70 Ländern, verteilt über alle Kontinente, bereit. Einige Verbände stellen neben den Verkaufszahlen auch Daten zum Bestand an Industrierobotern bereit, welche von der IFR verarbeitet werden. Stehen keine gesicherten Daten zum Bestand zur Verfügung, werden die Verkaufszahlen kumuliert, wobei angenommen wird, dass ein Roboter durchschnittlich zwölf Jahre im Bestand verbleibt, bevor er ausscheidet (IFR 2014).

3.2 Robotik und Automatisierung in Deutschland

In der Forschung sowie in der Praxis hat sich die begriffliche Zusammenfügung von „Robotik und Automatisierung“ etabliert. Wo der Ausdruck Robotik den Einsatz von Roboterlösungen relativ klar umreißt, ist der Begriff Automatisierung bislang nicht klar abgesteckt. So definiert die Credit Suisse (2012) industrielle Automation als „[...]use of control systems and software to independently operate and monitor a mechanized system of industrial processes.“ Der VDMA in Zusammenarbeit mit McKinsey (2014) hingegen unterscheidet herstellerbezogen innerhalb der Branche Robotik- und Automationshersteller drei Sektoren: den Bereich Integrated Assembly Solutions, hiermit gemeint ist Montage- und Handhabungstechnik, den Bereich Robotik und den Bereich industrielle Bildverarbeitung.

Analyseobjekt des vorliegenden Kapitels sind Betriebe, die Industrieroboter und/oder Handhabungssysteme in Fertigung und Montage nutzen. Der Anwendungsbereich der betrieblichen Nutzung von Automatisierungstechniken ließe sich grundsätzlich weiter fassen, z. B. Nutzung von CNC-Maschinen, Manufacturing Execution Systems und anderen. Die Fokussierung auf Roboter und Handhabungssysteme bietet jedoch zum einen eine gute Abdeckung des Themenfelds Robotik und Automatisierung entsprechend der VDMA-Einteilung. Zum anderen können bei der Interpretation der Auswertungen klare Bezüge zu diesen beiden Technologien hergestellt werden.

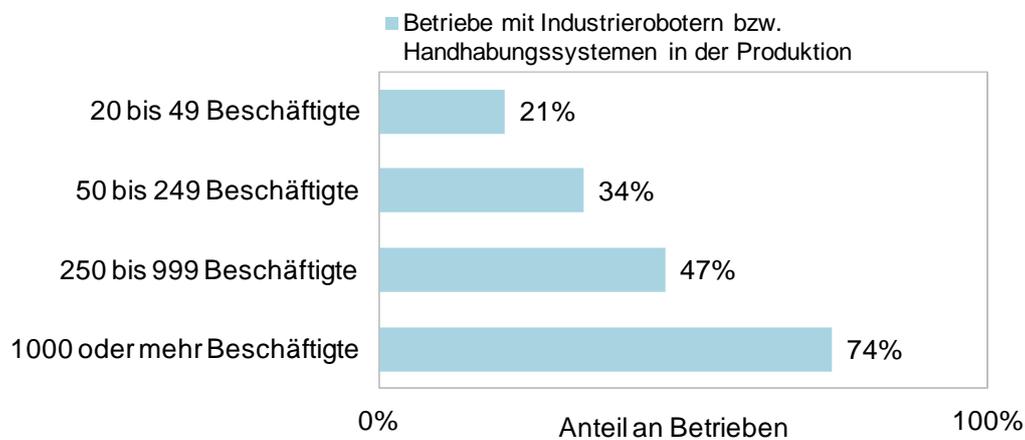
Weitere Automatisierungstechniken, die einen starken Bezug zur Digitalisierung der Industrie aufweisen, wie beispielsweise Manufacturing Execution Systems, werden in Kapitel 3.6 betrachtet.

3.2.1 Wer sind die (betrieblichen) Anwender von Robotiksystemen?

Knapp ein Drittel der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland setzten 2012 Industrieroboter und/oder Handhabungssysteme in ihrem Produktionsprozess ein (32 Prozent). Zehn Jahre vorher, im Jahr 2003, lag der Wert bei 28 Prozent (Armbruster et al. 2006).

Zur genaueren Beschreibung der Betriebe mit Roboternutzung in der Produktion wird zunächst die **Betriebsgröße** betrachtet. Dabei wird auf eine Einteilung der Betriebe anhand der Anzahl ihrer Beschäftigten zurückgegriffen. Wie erwartet nutzen große Unternehmen häufiger Industrieroboter/Handhabungssysteme. Die Abbildung 3-1 zeigt sehr deutlich den Anstieg der Nutzung von Industrierobotern mit steigender Betriebsgröße.

Abbildung 3-1: Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Betriebsgröße

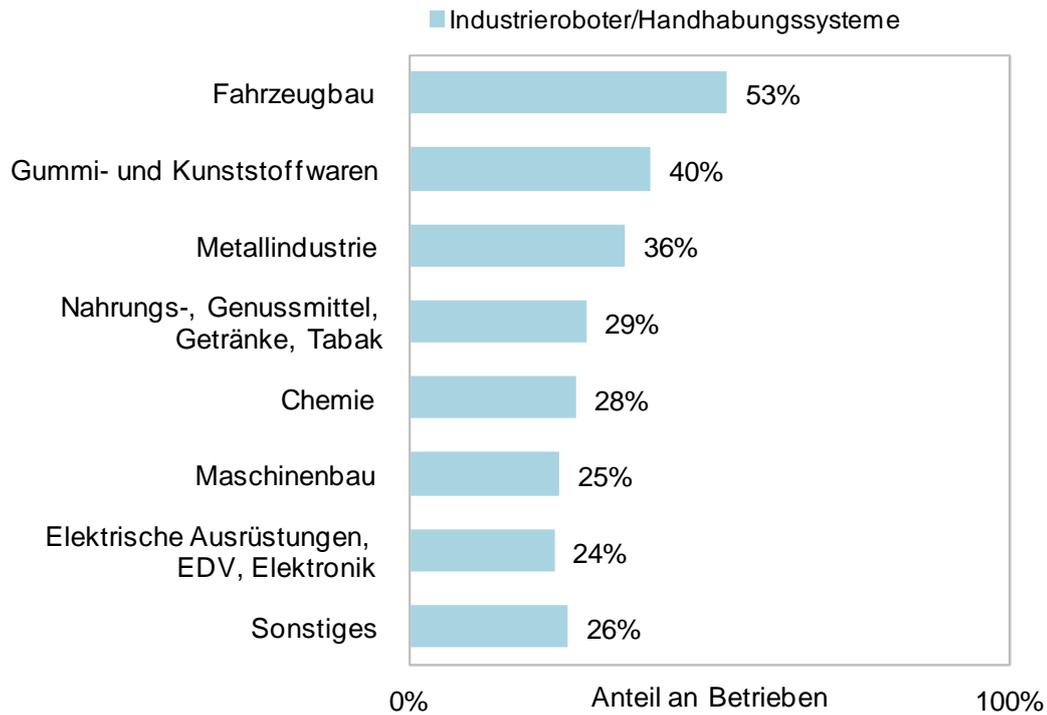


Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Dies kann darin begründet sein, dass große Unternehmen eine höhere Erfahrung in der Einführung neuer Technologien aufweisen und somit geringere Hemmnisse bei der Einführung neuer Technologien vorliegen ebenso wie Erfahrungen bzw. auch Routine in der Anpassung bestehender Produktionsstrukturen. Ein weiterer Grund ist in der höheren Ausbringungsmenge (unabhängig von der Seriengröße) von großen Betrieben zu vermuten. Höhere Stückzahlen führen zu einer höheren Auslastung der Robotertechnik, wodurch die Kosten pro zu bearbeitendem Stück geringer ausfallen und sich nur in klei-

nem Maße auf den Verkaufspreis auswirken. Als drittes ist anzumerken, dass mit zunehmender Betriebsgröße häufig auch höhere finanzielle Ressourcen vorliegen. Dies erleichtert die Entscheidung zum Kauf von Industrierobotern (Armbruster et al. 2006).

Abbildung 3-2: Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Branchenklassen



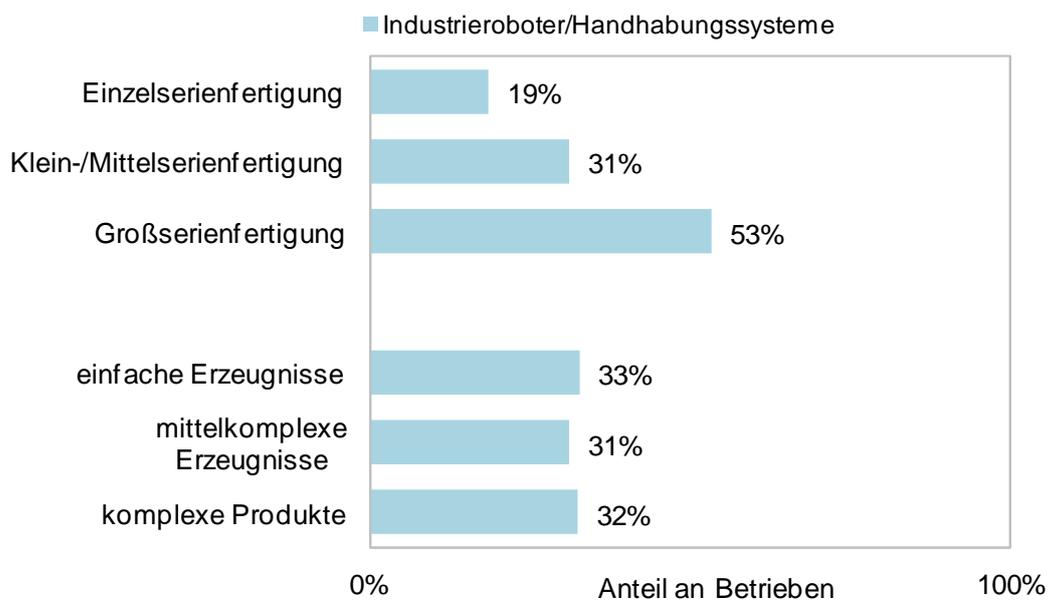
Erhebung *Modernisierung der Produktion 2012*, Fraunhofer ISI

Die Betrachtung der Nutzeranteile von Industrierobotern in verschiedenen **Branchen** des Verarbeitenden Gewerbes zeigt, dass wie zu erwarten speziell der Fahrzeugbau eine sehr hohe Nutzerquote aufweist (vgl. Abbildung 3-2). In dieser Branche setzt im Durchschnitt über alle Betriebsgrößen hinweg jeder zweite Betrieb Industrieroboter im Produktionsprozess ein. Auf Platz zwei in der Anwendung steht die Gruppe der Hersteller von Gummi- und Kunststoffwaren gefolgt von der Gruppe der Hersteller von Metallzeugnissen bzw. Bearbeiter von Metallzeugnissen. Mehr als jeder dritte Betrieb verfügt in diesen Branchen, die gekennzeichnet sind durch Produktion in mittelgroßen Fertigungslosen, hoch kundenspezifische Produktionsprozesse oder eine höhere Variantenvielfalt bedingt durch viele kleine auftragsgebende Betriebe, über Industrieroboter bzw. Handhabungssysteme. Am unteren Ende hinsichtlich der Verbreitung von Robotertechnologie stehen Branchen wie der Maschinenbau, Hersteller von elektrischen Ausrüstun-

gen sowie Betriebe der Chemieindustrie. Nur etwa jeder vierte Betrieb setzt in diesen Branchen Industrieroboter ein.

Obschon gerade der deutsche Maschinenbau als Hochtechnologiesektor gilt, ist der Einsatz von Industrierobotern für viele Betriebe wohl auch im Jahr 2012 noch immer nicht wirtschaftlich tragfähig. Im Gegensatz dazu zählen Chemie- sowie Nahrungsmittel- und Genussindustrie zu den so genannten Prozessindustrien, die vor allem auf verfahrenstechnischen Prozessen wie Mixen, Separieren oder Umformen (Gram 2011) basieren. Der Einsatz von Industrierobotern ist in diesen Industrien auf die Bearbeitung von Einzelstücken (z. B. Verpackung) beschränkt. Daher ist für diese Branchen von einer geringeren Anwendbarkeit der Industrierobotik auszugehen.

Abbildung 3-3: Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Seriengröße und Produktkomplexität



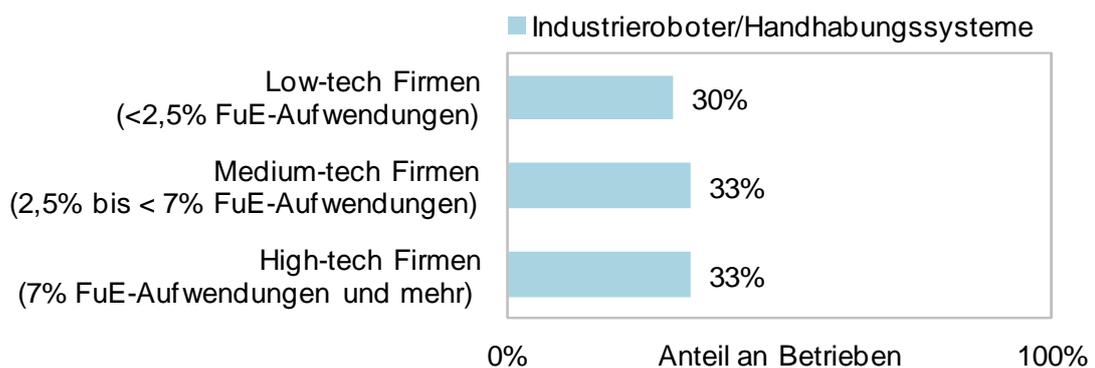
Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Abbildung 3-3 zeigt, dass ein deutlicher Unterschied in der Nutzerrate von Robotern abhängig von der **Seriengröße** festzustellen ist. So setzen mehr als die Hälfte der Betriebe, welche große Serien produzieren, Industrieroboter in ihrem Produktionsprozess ein, hingegen nur 19 Prozent der Betriebe, die Einzelstücke produzieren. Dieses Ergebnis überrascht wenig. Es ist begründet anzunehmen, dass der wirtschaftliche Einsatz von Industrierobotern von einer hohen Auslastung abhängt. Im Vergleich zu älteren Untersuchungen ist dabei festzuhalten, dass der große Abstand zwischen Unternehmen, die in Großserie fertigen und Produzenten kleinerer Serien unverändert geblieben ist. Bereits

vor zehn Jahren war der Anteil der Roboternutzer unter den Betrieben mit überwiegender Einzelfertigung im Vergleich deutlich geringer (Einzelserienfertiger 14 Prozent, Großserienfertiger 52 Prozent) (Armbruster et al. 2006). Dies deutet darauf hin, dass sich hinsichtlich wirtschaftlicher Hürden im Einsatz von Industrierobotern weniger geändert hat als zu erwarten war. Offensichtlich sieht nur jeder fünfte Einzelfertiger sinnhafte und wirtschaftlich tragbare Einsatzmöglichkeiten für Industrieroboter bzw. Handhabungssysteme.

Hinsichtlich der Verwendbarkeit von Robotern in der Produktion für die Herstellung unterschiedlich komplexer Produkte hat sich im Gegensatz dazu in den letzten zehn Jahren offensichtlich etwas geändert. Abbildung 3-3 zeigt, dass 2012 eine Gruppierung anhand der **Komplexität der erstellten Güter** keine unterschiedlichen Nutzungsanteile sichtbar werden lässt. In der Studie von Armbruster et al. (2006) hingegen war der Anteil der Betriebe mit Industrierobotern und Handhabungssystemen unter Betrieben mit einfachen Erzeugnissen (33 Prozent) deutlich höher als Herstellerbetriebe von komplexen Anlagen (20 Prozent) (Armbruster et al. 2006). Dies verweist auf eine Weiterentwicklung der Robotertechnik und die heute größeren Einsatzmöglichkeiten von Robotern auch für aufwendigere Bearbeitungsschritte. Industrieroboter eignen sich heute sowohl für einfache, standardisierte Tätigkeiten in hoher Ausführungsfolge als auch für wiederholbare präzise Ausführung kritischer Prozessschritte.

Abbildung 3-4: Anteil der Betriebe mit Industrierobotern/Handhabungssystemen nach FuE-Intensität



Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Als letztes Merkmal zur Beschreibung der Roboternutzer im Verarbeitenden Gewerbe wird die so genannte **Forschungsintensität** herangezogen. Für die Analysen wird Forschungsintensität klassifiziert auf Basis des Anteils der Ausgaben für Forschung und

Entwicklung (FuE) am Gesamtumsatz.⁶ Abbildung 3-4 zeigt, dass der Anteil an Roboter nutzenden Betrieben in den Gruppen unterschiedlicher Forschungsintensität kaum variiert, d. h. aus der (alleinigen) Betrachtung des Merkmals Forschungsintensität ist keine Tendenz hinsichtlich Nutzung und/oder Nicht-Nutzung von Robotern abzuleiten. Dass die Klassifizierung zu nicht-forschungsintensiven Betrieben keineswegs pauschalen Rückschluss auf eine geringe Nutzung technischer Prozessinnovationen erlaubt, zeigten auch bereits Kirner et al. (2009).

Abschließend über die Betrachtung von Betriebscharakteristika und Merkmalen der Produktionsstruktur hinausgehend ist von Interesse, ob Betriebe mit Roboternutzung andere Prioritäten im betrieblichen Innovationsgeschehen setzen als Nichtnutzer. Dazu zeigt Tabelle 3-1, zu welchen Anteilen Betriebe beider Gruppen eines der vier Felder betrieblicher Innovation als **wichtigstes Innovationsfeld** nennen.

Tabelle 3-1: Wichtigstes Innovationsfeld nach Nutzer und Nicht-Nutzer IR/HH

Innovationsfeld	Nutzer Industrieroboter/ Handhabungssysteme	Nicht-Nutzer
neue Dienstleistungsangebote	3 %	8 %
neue Organisationskonzepte	7 %	10 %
neue technische Produktionsprozesse	37 %	25 %
Entwicklung neuer Produkte	53 %	58 %

Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Die Priorisierung der Innovationsfelder ist auf den ersten Blick vergleichbar. Sowohl Betriebe mit Einsatz von Industrierobotern und Handhabungssystemen als auch Nichtnutzer priorisieren mehrheitlich (53 bzw. 58 Prozent) im Rahmen ihrer betrieblichen Innovationstätigkeiten die Entwicklung neuer Produkte. Dies ist kaum verwunderlich, da die Technologie- und Qualitätsführerschaft ein Aushängeschild für viele Betriebe des deutschen Verarbeitenden Gewerbes darstellt. Dennoch bestehen statistisch signifikante Unterschiede. Zum einen setzen deutlich mehr Betriebe mit Roboternutzung technische

6 Dieser Indikator erlaubt eine Trennung in nicht-forschungsintensive Betriebe (FuE-Quote < 2,5 %), Betriebe mittlerer Forschungsintensität (2,5 bis 7 %) und forschungsintensive Betriebe (> 7 %). Die Verwendung der Trennwerte geht auf eine OECD-Klassifikation zur Bestimmung nicht-forschungsintensiver Branchen zurück (Legler und Frietsch 2007). Auf Basis branchenspezifischer Durchschnittswerte zu FuE-Ausgaben wurde zwischen so genannten Low-, Medium- und Hightech-Branchen unterschieden. In der vorliegenden Studie werden die gleichen Trennwerte allerdings auf einzelbetrieblicher Ebene angewandt. Hintergrund ist, dass nicht-forschungsintensive Unternehmen nicht nur in Lowtech-Branchen zu finden sind, sondern auch in so genannten Hightech-Branchen. Ebenso sind forschungsintensive Betriebe in allen Branchen vertreten (Kirner et al. 2009, S. 6).

Prozessinnovation an erste Stelle ihrer Innovationsbemühungen. Zum anderen stellen nur sehr wenige (3 Prozent) von diesen Betrieben neue Dienstleistungsangebote in den Vordergrund ihrer Innovation.

3.2.2 Welches Potenzial wird von Betrieben bei der Nutzung von Robotiksystemen ausgeschöpft?

Alleine, dass man über technische Automatisierungslösungen verfügt, erlaubt noch keine Rückschlüsse, in welchem Umfang diese tatsächlich genutzt werden. Im Folgenden wird daher der Umfang des Einsatzes von Industrierobotern und Handhabungssystemen näher betrachtet.

Dafür kann auf Angaben der Betriebe zurückgegriffen werden, die erlauben lassen, in welchem Umfang die maximal sinnvollen Nutzungsmöglichkeiten im Betrieb ausgeschöpft werden. Die Nutzer wurden gefragt, in welchem Verhältnis die tatsächliche Nutzung der Technik in Bezug zur maximal sinnvollen Nutzungsmöglichkeit im Betrieb steht. Es konnte differenziert werden zwischen gering, d. h. in Ansätzen genutzt, mittel für teilweise Ausschöpfung und hoch für in großem Umfang ausgeschöpft.

Knapp 40 Prozent aller Betriebe, die Industrieroboter bzw. Handhabungssysteme einsetzen, schöpfen der eigenen Einschätzung nach das volle Potenzial der Systeme aus. Weitere 49 Prozent nutzen das Potenzial ihrer Robotik- und Handhabungstechnologie nur teilweise aus. Diese Anteile legen nahe, dass Betriebe genau abwägen, ob Roboter angeschafft werden und dabei konkrete Hinweise und Überlegungen über Notwendigkeit und Auslastung bestehen. Für die wenigen Betriebe, welche die bestehende Roboter- und Handhabungstechnik in nur geringem Umfang nutzen, kann vermutet werden, dass sich der Einsatz noch in einer Pilotphase befindet, wirtschaftlich als zu teuer eingeschätzt wird oder die damit verbundenen Folgeänderungen, z. B. notwendiger Kompetenzaufbau oder die Einpassung in die Produktionsumgebung, zu aufwendig erscheinen.

Abbildung 3-5 zeigt eine differenzierte Betrachtung des genutzten Potenzials vorhandener Robotertechnik für verschiedene Betriebsgrößenklassen und zeigt, dass unter den Roboternutzern verschiedener Betriebsgröße keine großen Unterschiede im Nutzungsumfang bestehen. Lediglich größere Betriebe setzen zu einem geringeren Anteil Industrieroboter in vollem Umfang ein – dies ist allerdings bei sehr großen Produktionsstandorten nicht überraschend.

Die Darstellung auf der rechten Seite der Grafik gibt weiterhin den Anteil der Betriebe, die Roboter in hohem Umfang nutzen, bezogen auf alle Betriebe wieder und damit den Anteil der Betriebe mit einer stark automatisierten Produktion. Es wird ein deutlicher Unterschied im Nutzungsverhalten zwischen kleineren und größeren Unternehmen

sichtbar. Dieser ist aber weniger eklatant als bei der Betrachtung des grundsätzlichen Einsatzes.

Abbildung 3-5: Nutzungsumfang bei Robotern und Anteil an Intensivnutzern nach Betriebsgröße

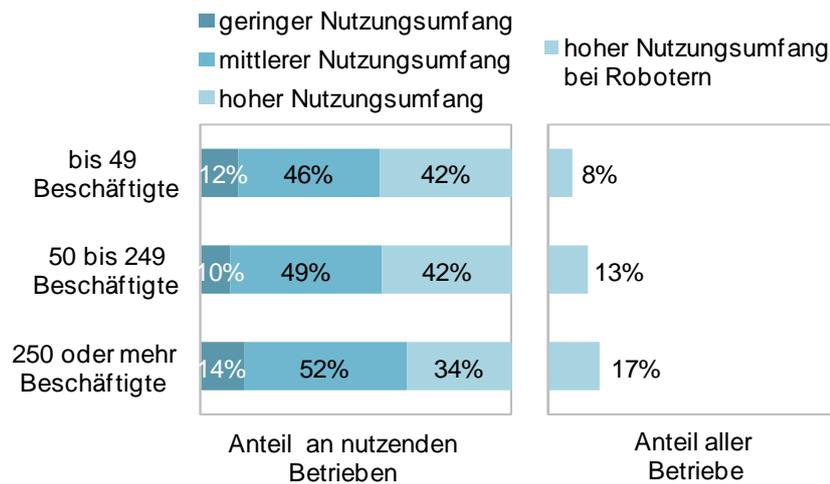
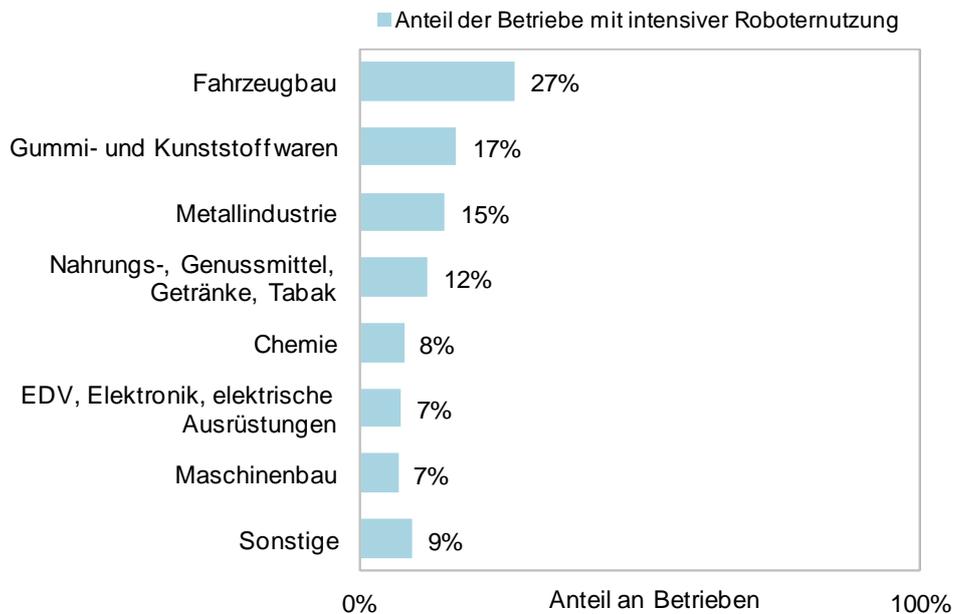


Abbildung 3-6: Anteil an Intensivnutzern von Industrierobotern/Handhabungssystemen nach Branchen



Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Die Betrachtung des Anteils intensiver Nutzung von Robotern und Handhabungstechnik für verschiedene Branchengruppen bringt hingegen deutlich größere Unterschiede zu Tage (vgl. Abbildung 3-6). Betriebe im Fahrzeugbau nutzen am häufigsten Roboter und Handhabungstechnik in hohem Umfang. An zweiter Stelle der Branchen mit einem hohen Nutzungsumfang bei Robotern liegen mit deutlichem Abstand die Hersteller von Gummi- und Kunststoffwaren. Hiernach folgen mit geringerem Abstand die Metallindustrie (15 Prozent) und die Nahrungs- und Genussmittelindustrie (12 Prozent).

Die schon bei der Betrachtung des grundsätzlichen Einsatzes sichtbare herausragende Stellung des Fahrzeugbaus wird hier noch deutlicher. Über 50 Prozent der Betriebe, welche diese Roboter bzw. Handhabungstechnik im Fahrzeugbau nutzen, setzen diese Automatisierungstechniken intensiv ein. Der Anteil der Intensivnutzer an den Roboter bzw. Handhabungstechnik nutzenden Betrieben fällt für den Bereich Gummi- und Kunststoffwaren sowie in der Metallindustrie mit 40 bzw. 36 Prozent schon deutlich niedriger aus. Für die anderen Branchen ist er noch geringer. Es zeigt sich somit, dass in Branchen mit hoher Nutzerquote bei Robotern und Handhabungssystemen diese auch häufiger intensiv eingesetzt werden. Die Unterschiede, die bereits beim Anteil der Nutzer in den Branchen festgestellt wurden, verstärken sich bei der Betrachtung der Intensivnutzer noch.

3.3 Investitionsdynamik in den letzten Jahren

3.3.1 Wie hat sich der Einsatz von Industrierobotern in Deutschland entwickelt?

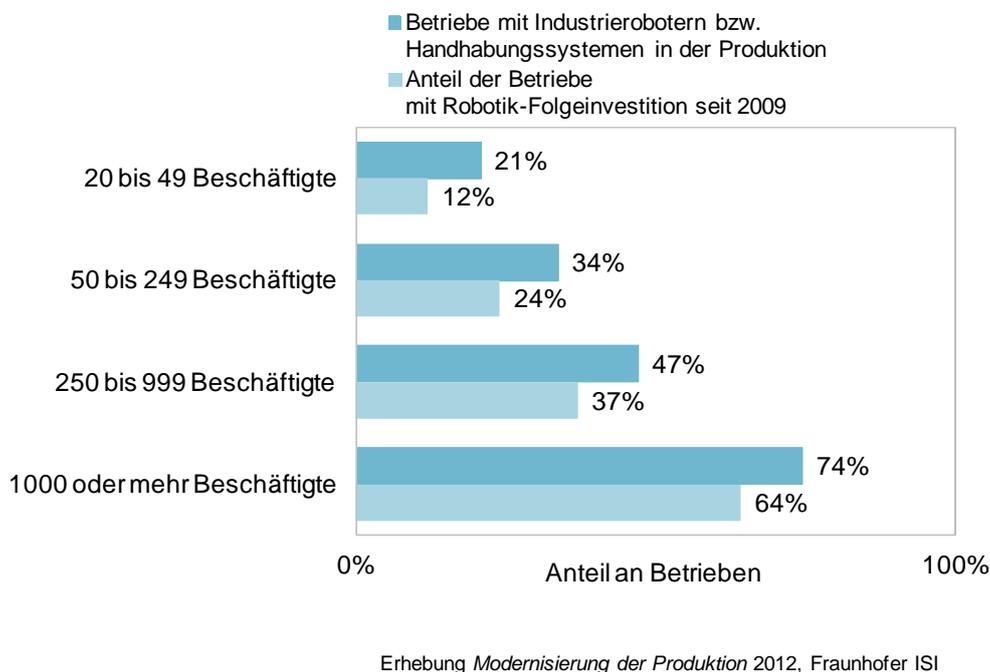
Im Jahr 2012 nutzten 32 Prozent der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland Industrieroboter und Handhabungssysteme in der Fertigung und Montage ihrer Endprodukte. Ob es sich hierbei um eine kontinuierliche Verbreitung dieser Automatisierungstechnologie handelt oder ob sprunghafte Anstiege zu verzeichnen sind, wird durch eine Betrachtung des Einführungsjahres der Technologie im **Zeitablauf** deutlich. Für die Betriebe, welche heute Industrieroboter und Handhabungssysteme einsetzen, wurde erfragt, wann diese Technologie erstmals eingeführt worden ist. Damit kann retrospektiv die Einführungsdynamik abgeschätzt werden.

Basierend auf diesen Angaben zum Einführungsjahr zeigt Abbildung 3-7 für den Zeitraum von 1980 bis 2012 den Anstieg des Nutzeranteils der Betriebe mit Industrierobotern und Handhabungssystemen bis zum Stand in der Industrie im Jahr 2012. Der Verlauf zeugt von einem kontinuierlichen leichten Zuwachs an nutzenden Betrieben über die letzten zwei Dekaden. Vor den 1990er-Jahren waren hingegen Industrieroboter bzw. Handhabungssysteme kaum in deutschen Industriebetrieben zu finden.

Abbildung 3-7: Anteil der Betriebe mit Industrierobotern im Zeitverlauf von 1980 bis 2012 im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands



Abbildung 3-8: Anteil der Betriebe mit Roboternutzung in der Produktion und mit Robotik-Folgeinvestitionen in den letzten drei Jahren



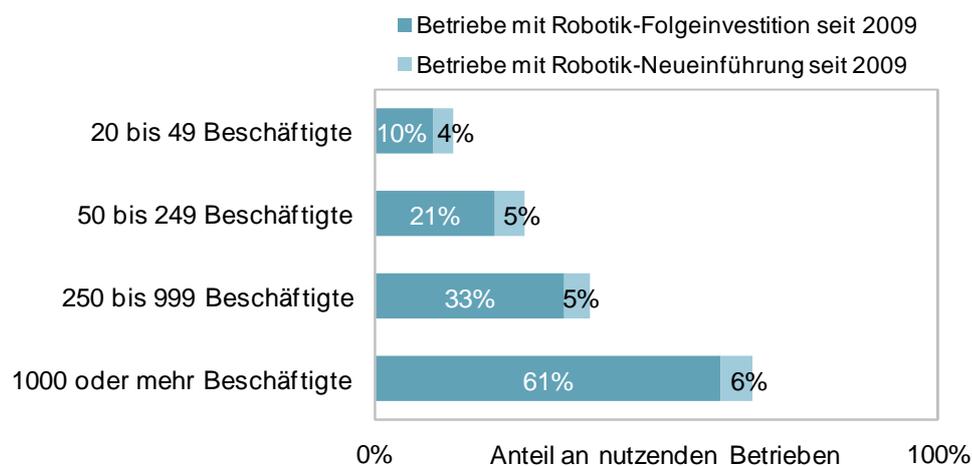
Die Entwicklung in jüngster Zeit spiegelt sich auch in dem Anteil an Betrieben wider, welcher **Folgeinvestitionen in die bestehende Roboter- und Handhabungsausrüstung** in den drei Jahren vor der Erhebung tätigte (vgl. Abbildung 3-8). Der Anteil an

Betrieben mit Folgeinvestitionen gibt dabei auch einen Hinweis auf den Modernisierungsgrad der aktuell verwendeten Technologie. Zudem kann eine hohe Folgeinvestitionsquote auch als Hinweis auf Pfadabhängigkeit und Folgekosten von Investitionen in diesem Technologiebereich gesehen werden und damit einen Hinweis auf finanzielle Aufwendungen über Anschaffungspreise hinaus liefern. Folgeinvestitionen können auch ein Hinweis darauf sein, dass in diesem Bereich technologische Weiterentwicklungen erfolgen.

Im Durchschnitt haben 22 Prozent aller Betriebe in den letzten drei Jahren Folgeinvestitionen in die Verbesserung der Technik von Industrierobotern bzw. Handhabungssystemen vorgenommen. Bezogen auf die Betriebe, die bereits über Industrieroboter bzw. Handhabungssysteme verfügen, haben damit im Durchschnitt 70 Prozent Folgeinvestitionen getätigt.

Abbildung 3-9 verdeutlicht, dass über alle Betriebsgrößen hinweg die Mehrheit der Roboternutzer in den letzten drei Jahren Folgeinvestitionen durchgeführt haben. Allerdings wird auch deutlich, dass der Anteil bei den großen Betrieben deutlich höher ausfällt. Die Grafik verdeutlicht aber auch, dass nicht nur der Anteil an Roboternutzern, sondern auch der Anteil an Folgeinvestitionen in bestehende Technik bei KMU deutlich geringer ausfällt als bei großen Betrieben. Mit zunehmender Betriebsgröße steigt der Anteil an Betrieben mit Folgeinvestitionen, d. h. große Betriebe nehmen häufiger Folgeinvestitionen vor als kleine Betriebe. Dies wird nur teilweise darin begründet sein, dass große Unternehmen tendenziell der schieren Anzahl nach mehr Roboter im Einsatz haben und somit häufiger Folgeinvestitionen vornehmen können.

Abbildung 3-9: Folgeinvestitionen und Neueinführung nach Betriebsgröße



Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Um den Einblick in die Dynamik der Investition in Robotertechnik in jüngster Zeit abzurunden, lohnt es sich, den **Anteil an Ersteinführungen** mit zu betrachten. Der Anteil der Betriebe, die in der Zeit von 2009 bis 2012 in Roboter bzw. Handhabungssysteme investierte, sollte ja sowohl die Folgeinvestitionen als auch die Ersteinführungen beachten. Bei dieser Art an Auswertung liegt allerdings empirisch eine Überlappung vor. Es gibt eine kleine Gruppe an Betrieben, die erst ab 2009 erstmals Roboter in ihrer Produktion eingeführt haben und schon darauf folgend Folgeinvestitionen tätigten. In den folgenden beiden Grafiken wurde die Gruppe der Folgeinvestitionen um diesen Anteil an doppelter Investition im Zeitraum bereinigt, sodass die Anteile dieser Gruppe leicht geringer ausfallen als in der vorangegangenen Zeit. Ziel war es dabei, jenen Anteil an Betrieben mit (Folge-)Investitionen in den letzten drei Jahren ohne Überschätzung abzubilden.

Diese Verteilung und Höhe der Anteile in Abbildung 3-9 ist wenig überraschend, ist doch der Bezugspunkt der Anteil an nutzenden Betrieben im Verarbeitenden Gewerbe (vgl. hierzu Abbildung 3-1). Insgesamt wird deutlich, dass große Betriebe mit mehr als 1.000 Beschäftigten mit deutlichem Abstand den höchsten Anteil an Betrieben haben, die seit 2009 im Bereich Robotik Investitionen getätigt haben. Bei kleinen Betrieben mit bis zu 49 Beschäftigten liegt der vergleichbare Anteil bei gut einem Fünftel.

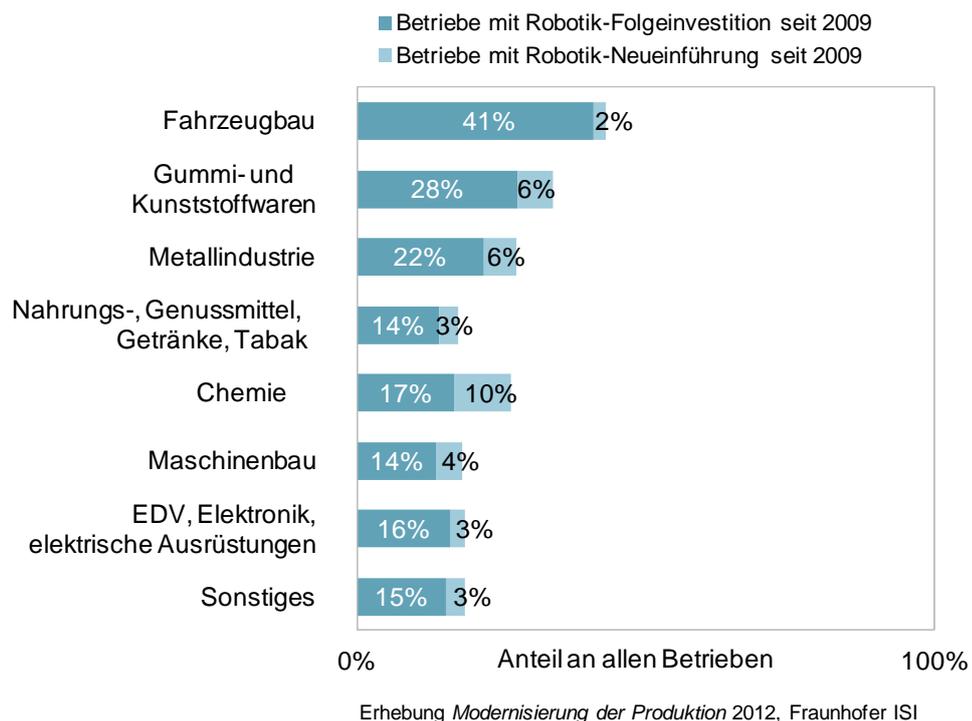
Deutlich wird allerdings auch, dass die Unterschiede bei den Neueinführungen vergleichsweise gering ausfallen. Für den Roboterabsatz gilt es allerdings zu beachten, dass KMU die absolute Mehrheit im Verarbeitenden Gewerbe darstellen. Bei den dargestellten Anteilen bedeutet dies, dass nominell die Anzahl an KMU, die Roboter neu einführen, deutlich den Anteil an Großbetrieben mit einer Ersteinführung überwiegt. Dennoch weist der geringe prozentuale Anteil an Neueinführungen bei kleinen Betrieben deutlich darauf hin, dass in den letzten Jahren bei den KMU kein Aufholen in der Nutzung von Robotern stattfindet, vielmehr hinken sie – wenn auch knapp – weiter auch im Anteil der Neueinführungen der Gruppe der großen Betriebe hinterher.

Abbildung 3-10 zeigt den Anteil an **Betrieben mit (Folge-)Investitionen in den letzten drei Jahren** unter Bereinigung der Folgeinvestitionsquote um die Überschätzung für verschiedene Branchen. Die Reihenfolge der Branchen in der Abbildung folgt der Logik von Abbildung 3-2 mit einer absteigenden Darstellung entlang der Nutzerquote. Wie in den vorangegangenen Analysen zur Betriebsgröße folgt zumeist der Anteil an in den letzten drei Jahren investierenden Betrieben dem Anteil an Roboternutzern in den betrachteten Branchengruppen. Die große Ausnahme bildet die Chemieindustrie. Sowohl beim Anteil an Robotik-Neueinführungen als auch beim Anteil an Folgeinvestitionen sticht diese Branche hervor. Zehn Prozent der Betriebe in der Chemie-/Pharma-Industrie haben in den vergangenen drei Jahren erstmalig einen Roboter in ihrer Produktion ein-

gesetzt. Zusätzlich haben weitere 17 Prozent aller Chemiebetriebe eine Folgeinvestition durchgeführt. Damit hat nahezu jeder Betrieb dieser Branche, welcher im Jahr 2012 Robotertechnologie in der Produktion verwendete, in den Jahren 2009 bis 2012 in diese Technologie investiert.

Aus den Ergebnissen zum Nutzeranteil von Robotern und Handhabungssystemen je Branche und Größe und dem Anteil an Betrieben mit Folgeinvestitionen, lässt sich ableiten, dass der Einsatz von Robotern mit Folgeinvestitionen einhergeht. Die Mehrheit der Betriebe, die Roboter nutzen, tätigen Folgeinvestitionen. Dieser erstaunlich hohe Anteil lässt allerdings noch im Unklaren, welche Art von Folgeinvestitionen getätigt wurde. Um die Wertschöpfungsverflechtungen im Roboterbereich umfassender nachvollziehen zu können, sind weitere Analysen zu Hersteller/Lieferant dieser Investitionen von großem Interesse. Beispielsweise sollte der Frage nachgegangen werden, ob der Geldstrom zum Hersteller fließt oder zu Drittfirmen, die Zusatzleistungen anbieten.

Abbildung 3-10: Folgeinvestition und Neueinführung nach Branche



Einen **Ausblick in die Zukunft** bietet abschließend die Betrachtung der Betriebe, die eine Einführung von Robotern planen. Insgesamt befassten sich im Jahr 2012 8 Prozent aller Betriebe mit dem Gedanken, einen Roboter bzw. ein Handhabungssystem bis 2018 neu einzuführen. Im Jahr 2003 lag der Anteil an Planern (ohne konkrete Zeitangabe)

ebenfalls bei 8 Prozent. Die Technologie scheint demnach nichts von ihrer Strahlkraft und ihren Versprechungen verloren zu haben.

Hinsichtlich der Größe der planenden Betriebe zeigt sich, dass mehr mittelgroße Betriebe mit 50 bis 249 Beschäftigten (10 Prozent) mit dem Gedanken einer Neuan-schaffung spielen. Mit zunehmender Größe nimmt dieser Anteil leicht ab und liegt bei Betrieben mit 250 bis 999 bei 9 Prozent und bei Betrieben mit mehr als 1.000 Beschäf-tigten bei 7 Prozent. Allerdings nur 5 Prozent der kleinen Betriebe fassen eine Neuan-schaffung ins Auge, zur nächsthöheren Betriebsgruppe mit 50 bis 249 liegt hier ein deutlicher Abstand vor. D. h. selbst im Gedankenspiel mit der Anschaffung sind kleine Betriebe zurückhaltender.

Dabei weist mit 10 Prozent wieder der Fahrzeugbau den größten Anteil an planenden Betrieben auf. Es scheint noch keine Sättigung des Marktes erreicht zu sein. In der Me-tallindustrie und Maschinenbau liegt der Anteil bei 9 Prozent, bei Herstellern von Gummi- und Kunststoffwaren und EDV bei 8 Prozent, in der Chemie bei 2 Prozent. Die Chemie hat somit in den letzten Jahren stark ausgebaut, ein weiterer Ausbau in diesem Ausmaß scheint sich nicht fortzuführen. Möglicherweise wurde in den letzten Jahren ein technischer Durchbruch erreicht, der Robotik erstmals in größerem Umfang für den Einsatz in der Chemieproduktion attraktiv werden ließ.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in Branchen mit hohem Nutzeranteil tendenziell weitere Neunutzer zu erwarten sind (Fahrzeugbau, Gummi- und Kunststoff-waren und Metallindustrie). Damit ist der Bereich der Robotik trotz bereits hoher Nut-zerquoten und einer kontinuierlichen Diffusionsrate in Deutschland im Zeitraum 2009 bis 2012 als sehr dynamisch zu charakterisieren. Es wäre einseitig, von einer branchen-übergreifenden etablierten Technologie mit klaren Verbreitungsstrukturen zu sprechen.

3.3.2 Einsatz von Industrierobotern weltweit und Position Deutschlands

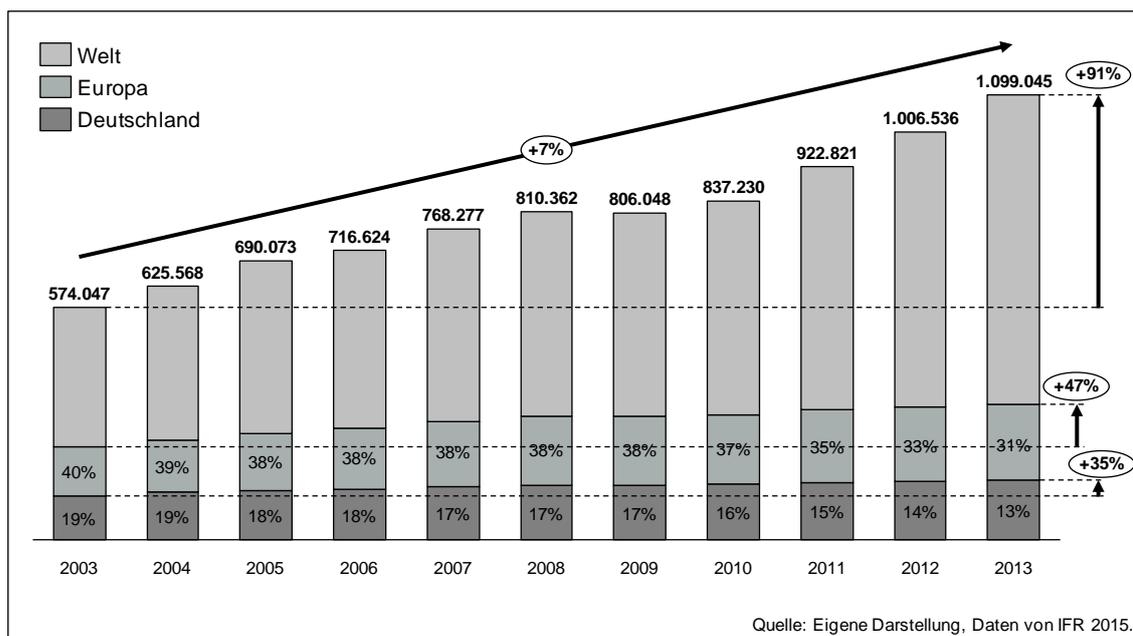
Die Anzahl der weltweit im Verarbeitenden Gewerbe eingesetzten Industrieroboter ist zwischen 2003 und 2013 mit einer durchschnittlichen Wachstumsrate von etwa 7 Prozent jährlich kontinuierlich angewachsen und liegt für 2013 bei 1.099.045 Einhei-ten (vgl. Abbildung 3-11). Eine Ausnahme vom ansonsten stetigen Wachstum ergibt sich lediglich für das Jahr 2009, in dem aufgrund der Weltwirtschaftskrise ein leichter Rückgang des Bestands an Industrierobotern zu verzeichnen war.

Im Zeitraum von 2003 bis 2013 erfolgte eine Steigerung der Anzahl an im Betrieb be-findlichen Industrierobotern um 91 Prozent des Bestands von 2003, was beinahe einer Verdoppelung des Bestands entspricht. Es ist davon auszugehen, dass der Trend zur

Automatisierung der Industrie dieses Wachstum wesentlich antreibt. Automatisierung bzw. der Einsatz von Industrierobotern sind wesentliche Hebel, um Produktivitäts-, Flexibilitäts- und Qualitätssteigerungen erzielen zu können, welche im immer globaleren Wettbewerb essenziell für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit sind.

Der Anteil Deutschlands am weltweiten Bestand an Industrierobotern lag 2003 bei 19 Prozent und ist seitdem kontinuierlich gesunken auf 13 Prozent in 2013, wengleich der absolute Bestand im selben Zeitraum um 35 Prozent und damit immerhin um ein Drittel zugenommen hat (vgl. Abbildung 3-11). Diese Entwicklung kann, zumindest teilweise, auf die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland zurückgeführt werden, da Investitionen in die Industrie und somit auch in Automatisierungslösungen stark vom Wirtschaftswachstum abhängen und Deutschlands Wirtschaft in den letzten Jahren langsamer gewachsen als der weltweite Durchschnitt.

Abbildung 3-11: Bestand an Industrierobotern im Verarbeitenden Gewerbe weltweit und Anteil Deutschlands sowie Europas von 2003 bis 2013



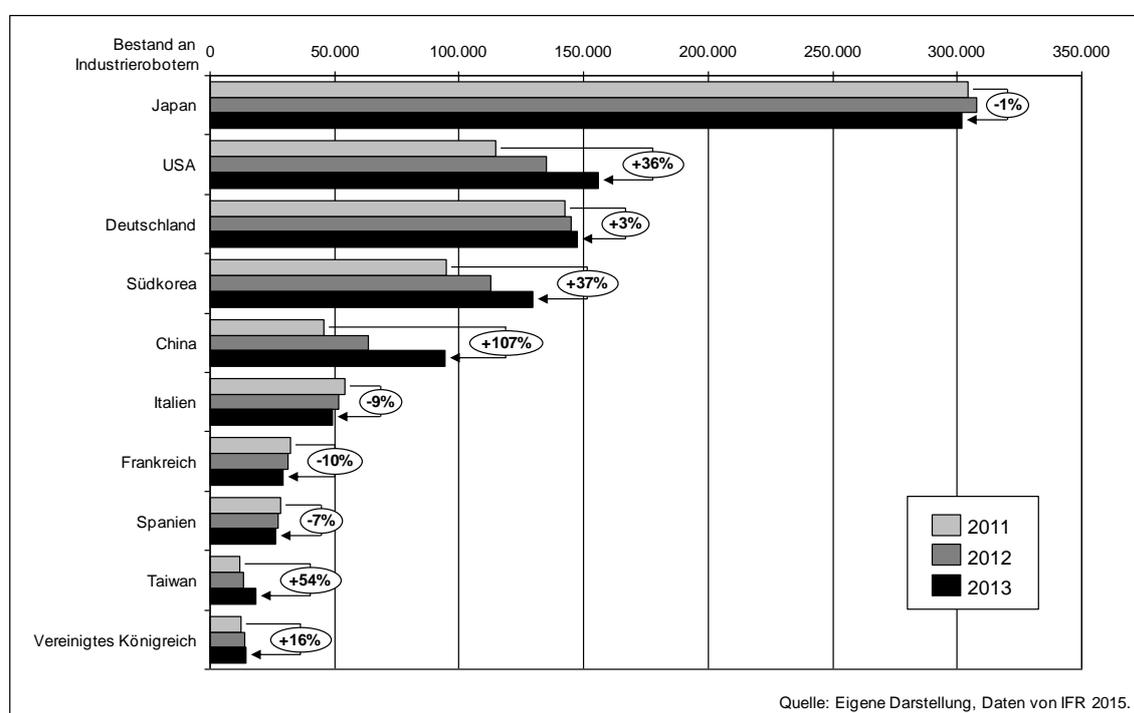
Für den weltweiten Bestand prognostiziert die IFR eine Steigerung auf 1.467.900 Einheiten für 2014 und erwartet einen Bestand von 1.946.000 Einheiten für 2017. Das Wachstum weltweit soll demnach weiter stark zunehmen.

Die Rolle Deutschlands als Nutzer von Industrierobotern wird ersichtlich, wenn man den Bestand an Industrierobotern im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland im Zeitraum zwischen 2003 und 2013 betrachtet. Zwar ist im Betrachtungszeitraum der Bestand, abgesehen von 2009, stetig um durchschnittlich 3 Prozent jährlich gewachsen,

von 109.390 Einheiten in 2003 auf 147.390 in 2013, trotzdem liegt dieser Wert weit unter dem durchschnittlichen weltweiten Wachstum von 7 Prozent.

In Europa (inklusive Deutschland) ist allerdings eine ähnliche Entwicklung zu beobachten. So stieg der Bestand an Industrierobotern von 228.555 im Jahr 2003 auf 335.359 im Jahr 2013. Das durchschnittliche jährliche Wachstum liegt mit 4 Prozent aber deutlich näher am deutschen Wert. Es zeigt sich, dass Deutschland mehr als 40 Prozent des europäischen Bestandes an Industrierobotern auf sich vereint.

Abbildung 3-12: Bestand an Industrierobotern im Verarbeitenden Gewerbe in den 10 Ländern mit den höchsten Beständen von 2011 bis 2013



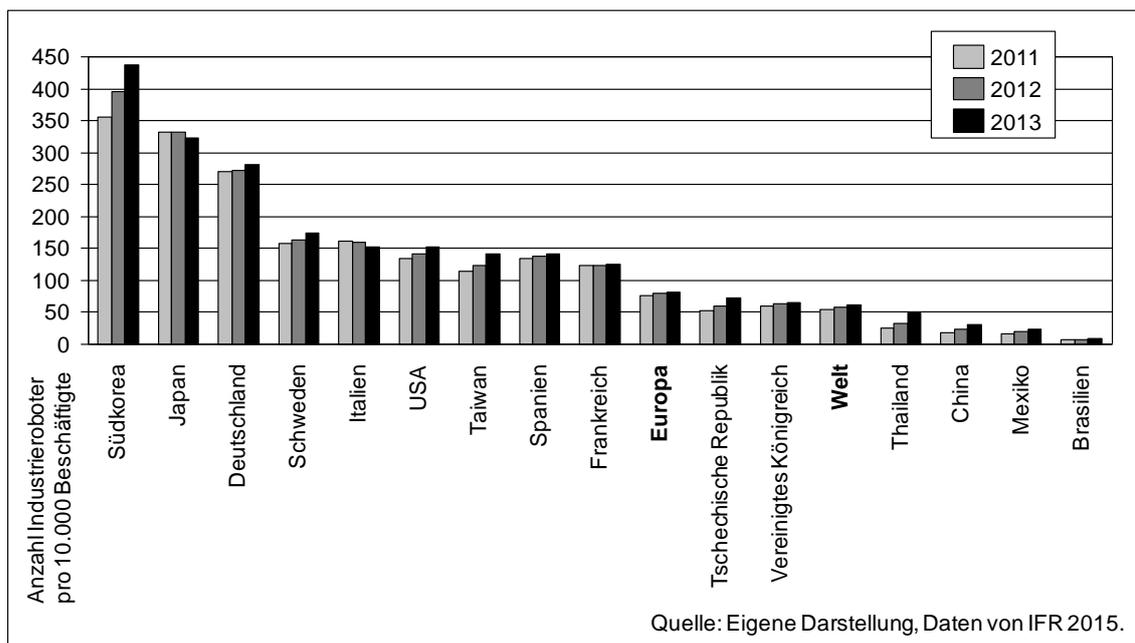
Im Vergleich zu anderen Ländern weltweit liegt Deutschland mit 147.390 Industrierobotern auf Platz drei, was deren Anzahl im Verarbeitenden Gewerbe betrifft (vgl. Abbildung 3-12). Lediglich Japan und die USA können einen größeren Bestand an Industrierobotern vorweisen. Japan ist bereits seit Jahrzehnten weltweit mit großem Abstand an der Spitze bezüglich der Nutzung von Industrierobotern, wenngleich der Bestand im Jahr 2013 gegenüber dem Vorjahr leicht abgenommen hat. Mit über 300.000 Einheiten im Jahr 2013 ist die Anzahl an Industrierobotern aber immer noch fast doppelt so hoch wie in den USA mit etwas mehr als 150.000 Einheiten. Es ist jedoch zu betonen, dass der Bestand an Industrierobotern in den USA in jüngster Zeit stark wächst und von 2011 bis 2013 um 36 Prozent zugenommen hat. Deutschland kann im selben Zeitraum nur ein Wachstum von in etwa 3 Prozent vorweisen und liegt 2013 mit 147.390 Einheiten

ten bereits knapp hinter den USA. Noch 2012 lag Deutschland vor den USA. Ein vergleichbar hohes Wachstum wie in den USA liegt auch in Südkorea vor, welches 2013 fast 130.000 Einheiten vorweisen kann, was im weltweiten Vergleich Rang vier bedeutet.

Auf den weiteren Rängen folgt China, welches 2012 erstmals Italien überholt hat. Die Entwicklung des Bestands an Industrierobotern in China ist von rasantem Wachstum geprägt. Zwischen 2011 und 2013 hat sich der Bestand um 107 Prozent gesteigert, was mehr als einer Verdopplung entspricht. Diese Wachstumsraten sind weltweit einmalig und so kommt China für 2013 auf einen Bestand von fast 95.000 Industrierobotern.

Eine detailliertere Betrachtung des Bestands an Industrierobotern auf Basis der Unternehmensgröße zur Differenzierung der Verwendung von Industrierobotern in kleinen, mittleren und großen Unternehmen ist auf Basis der IFR-Daten nicht möglich.

Abbildung 3-13: Anzahl an Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte über alle Branchen hinweg in den 15 Ländern mit den höchsten Beständen von 2011 bis 2013



Da der absolute Bestand an Industrierobotern in den jeweiligen Ländern nur begrenzt aussagefähig ist, wird er zusätzlich in Relation zu den Beschäftigten betrachtet. Dieser Wert kann folglich als Indikator für den Automatisierungsgrad betrachtet werden. Die IFR berechnet jeweils den Wert an Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte im Verarbeitenden Gewerbe des jeweiligen Landes: Südkorea kann hier mit Abstand den höchsten Wert aufweisen (vgl. Abbildung 3-13). Über alle Branchen hinweg kommen mehr

als 430 Industrieroboter auf 10.000 Beschäftigte. Dieser Wert ist in den letzten Jahren um mehr als 20 Prozent gestiegen. Japan liegt an zweiter Stelle mit etwa 320 Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte, wobei dieser Wert in den letzten Jahren leicht gesunken ist. Danach folgt Deutschland mit einem Wert von über 280, der zwischen 2011 und 2013 ein leichtes Plus verzeichnen kann. Die drei genannten Länder liegen mit deutlichem Abstand vor den übrigen betrachteten Ländern, die alle unter 175 Industrieroboter pro 10.000 Beschäftigte aufweisen, jedoch abgesehen von Italien, jeweils eine Zunahme des Werts verzeichnen können. Der europäische Durchschnitt liegt bei 82, der weltweite Durchschnitt bei 62 Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte. Betrachtet man die Anzahl an Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte im Verarbeitenden Gewerbe ohne die Automobilindustrie, so ergeben sich deutlich geringere Werte. In Deutschland liegt der Wert für 2013 im Schnitt über allen anderen Branchen bei 154 Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigten, hingegen stehen in der Automobilindustrie 1.140 je 10.000 Beschäftigte zur Verfügung. Diese Verschiebung ist für alle Länder zu beobachten und verdeutlicht die sehr intensive Nutzung von Robotiktechnologien in der Automobilindustrie (IFR 2014). Die relative Verortung Deutschlands im Ländervergleich ist die gleiche, wenn die Nutzung von Robotik in der Automobilindustrie nicht berücksichtigt wird (vgl. Anhang AI-4).

3.4 Welchen Nutzen bringen Robotiksysteme für die einsetzenden Betriebe?

Der Einsatz von Robotern im industriellen Umfeld erfolgt meist mit dem Ziel, die Effizienz von Produktionsprozessen zu verbessern. Ausgangspunkte für den Einsatz von Robotern sind die drei Stellhebel Kosten – niedrigere Kosten in der Bearbeitung im Vergleich zur manuellen Ausübung, Qualität – eine höhere, gleichbleibende Qualität des Bearbeitungsschrittes und Zeit – höhere Flexibilität/Reduktion der Durchlaufzeiten und damit eine zeitlich sicherere Produktionsplanung, welche zu einer höheren Liefertreue führt.

Die Untersuchung von Kleine et al. (2007) weist bereits darauf hin, dass für verschiedene Leistungskennzahlen Unterschiede zwischen Nutzern und Nicht-Nutzern von Automatisierungstechnik vorliegen. So zeigen Kleine et al. (2007) für die Liefertreue, dass Nutzer von Robotern eine deutlich bessere Liefertreue aufweisen als Nicht-Nutzer. Im Folgenden wird daher betrachtet, ob ein deutlicher Unterschied zwischen Nicht-Nutzern und Nutzern für verschiedene Leistungskennzahlen vorliegt bzw. für Liefertreue Bestand hat. Zusätzlich werden die Leistungskennzahlen für die Gruppen der Intensiv-Nutzer und der Nicht- bzw. Gering-Nutzer verglichen, um ableiten zu können, ob erst

eine hohe Intensität des Einsatzes von Robotertechnik zu Verbesserungen einzelner Leistungsindikatoren führt.

Untersucht werden die folgenden Kennzahlen: Wertschöpfung je Beschäftigtem (Kosten), Gesamtfaktorproduktivität als Indikator für die Gesamtproduktivität, Termintreue (Zeit), Ausschussquote (Qualität). Zusätzlich wird auch die Beschäftigungsentwicklung im Jahr 2010-2011 betrachtet. Der Einsatz von Robotern in der Produktion setzt zumeist an Arbeitsschritten an, die vormals manuell durchgeführt wurden. Die Substitution menschlicher Arbeit durch Maschinen und ihre Wirkung auf die industrielle Beschäftigung, insbesondere auf an- und ungelernete Beschäftigte, wird in der Wissenschaft kontrovers diskutiert. Deutliche Unterschiede zwischen Nutzern und Nicht-Nutzern von Robotern können daher einen Hinweis auf die Richtung der Beschäftigungswirkung geben.

Tabelle 3–2: Performanceindikatoren im Vergleich zwischen Betrieben mit und ohne Robotereinsatz sowie im Vergleich zu Betrieben, die Robotertechnik umfassend bzw. nur in geringem Umfang in der Produktion einsetzen

	Nicht-Nutzer	Nutzer	Nicht-intensiv Nutzer	Intensiv- Nutzer
Wertschöpfung [Tsd. Euro je Beschäftigtem]				
Mittelwert (Std. Abw.)	89,06 (61,60)	100,63 (59,13)	102,18 (66,89)	98,58 (46,66)
Median	76,96	91,18	91,04	90,91
(5-95%)	(30,60-181,82)	(41,60-188,24)	(43,48-195,14)	(41,32-181,82)
N	738	341	188	135
Total Factor Produktivität				
Mittelwert (Std. Abw.)	1,80 (0,83)	1,91 (1,11)	1,92 (1,35)	1,90 (0,75)
Median	1,61	1,64	1,61	1,73
(5-95%)	(0,93-3,33)	(0,92-3,43)	(0,89-3,43)	(0,94-3,17)
N	641	305	166	123
Ausschussquote [%]				
Mittelwert (Std. Abw.)	3,2 (4,57)	2,7 (3,71)	2,6 (3,74)	2,8 (3,81)
Median	2,0	1,5	1,5	1,6
(5-95%)	(0,0-10)	(0,1-10)	(0,1-10,0)	(0,1-10)
N	930	434	247	164
Termintreue [%]				
Mittelwert (Std. Abw.)	89,9 (12,72)	91,4 (13,29)	91,0 (14,05)	92,8 (10,08)
Median	95	95	95	95
(5-95%)	(65-100)	(70-100)	(70-100)	(80-100)
N	968	453	256	171
Jährliche Beschäftigungsentwicklung 2010-2012 [%]				
Mittelwert (Std. Abw.)	3,8 (10,6)	3,4 (9,6)	3,5 (8,6)	3,6 (9,5)
Median	2,2	2,6	2,9	2,6
(5-95%)	(-7,7-20,0)	(-8,3-18,1)	(-7,4-16,7)	(-7,1-20,1)
N	946	439	247	166

Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Tabelle 3–2 gibt einen vergleichenden Überblick über die genannten betrieblichen Performanceindikatoren. Zusammengefasst sind Durchschnittswerte für die Betriebe, die Robotertechnik bzw. Handhabungssysteme in der Produktion einsetzen bzw. nicht einsetzen, sowie für jene Betriebe, die Robotertechnik bzw. Handhabungssysteme umfassend in der Produktion nutzen bzw. die diese Technik in geringerem Umfang (nicht-intensiv) einsetzen. Dargestellt sind das arithmetische Mittel als klassischer Durchschnittswert wie auch der Median für die Gruppen, an welcher Stelle die Gruppe in zwei gleich große Teilgruppen halbiert werden kann. Der Median trennt damit die eine Hälfte der Betriebe mit einem Wert unterhalb des Medians von der anderen Hälfte der Betriebe mit einem Wert oberhalb oder gleich zum Median. Um darüber hinaus eine Vorstellung über den Unterschied in einer Gruppe zu erhalten, sind die Werte für das 5- und 95-Prozent-Perzentil dargestellt. Damit wird deutlich, welcher Abstand zwischen den 5 Prozent mit den kleinsten Angaben und den 5 Prozent mit den größten Angaben liegt.

3.4.1 Wertschöpfung

Als erste Leistungskennziffer wird die Wertschöpfung je Beschäftigten untersucht. Die Wertschöpfung erfasst den Umsatz aus den hergestellten Waren und Dienstleistungen eines Betriebes abzüglich der Ausgaben für die Vorleistungsgüter geteilt durch die Anzahl an Beschäftigten. Diese Ausgaben werden daher aus dem Umsatz heraus gerechnet. Nutzer von Robotern und Handhabungssystemen weisen eine durchschnittlich höhere Wertschöpfung je Beschäftigte auf als Nicht-Nutzer. Ebenso liegt ein deutlicher Unterschied zwischen Intensiv-Nutzern und Betrieben mit geringer Potenzialausschöpfung beim Einsatz von Robotik in ihrer Produktion.

Betriebe, die Roboter oder Handhabungssysteme einsetzen, weisen eine höhere Wertschöpfung je Beschäftigte auf. Die exklusive Betrachtung der Intensiv-Nutzer zeigt dabei im Vergleich der Durchschnittswerte keine deutlich höhere Wertschöpfung je Beschäftigte.

Diese Einschätzung ist auch bei einer multivariaten Betrachtung haltbar (Anhang AI-5). Auch unter Kontrolle von Betriebsgröße, Branche, Exportumfang, Fertigungstiefe, Komplexität der hergestellten Produkte, der Seriengröße und der Produktion nach Kundenauftrag erzielen Betriebe, die Roboter oder Handhabungssysteme in der Produktion einsetzen, eine höhere Wertschöpfung pro Kopf als Betriebe ohne solche Technik. Dabei ist es unerheblich, ob die Roboter allumfassend, wo immer sinnvoll möglich, verwendet werden oder nur teilweise für einzelne Arbeitsschritte zum Einsatz kommen. Die Wertschöpfung je Beschäftigten wird zudem wesentlich beeinflusst durch Fertigungstiefe, Exportorientierung, Betriebsgröße, Seriengröße sowie Branche. Zudem ist

interessant, dass den Modellen zufolge bei steigendem Anteil von an- bzw. ungelerntem Personal die Wertschöpfung pro Beschäftigtem geringer ausfallen wird.

3.4.2 Total Factor Productivity

Für die Messung und das Monitoring der betrieblichen Produktivität wird zudem die so genannte Gesamtfaktorproduktivität oder Total Factor Productivity (TFP) betrachtet. Die Berechnung erfolgt über den Umsatz abzüglich Vorleistungen im Verhältnis zum Arbeits- und Kapitaleinsatz. Diese Kennziffer beschreibt einen abstrakten Wert, der jedoch zum Vorteil hat, dass dieser den betrieblichen Output in Beziehung zum Arbeits- und auch zum betrieblichen Kapitaleinsatz für Maschinen und Anlagen setzt. Insbesondere bei Letzterem gilt, dass ein höherer betrieblicher Kapitaleinsatz für die Ausrüstung mit Maschinen und Anlagen gegebenenfalls unvorteilhafter sein kann als die damit erreichten Einsparungen an Arbeitsleistung, wenn Lösungen aufgrund der technischen Möglichkeiten entwickelt werden, welche die Bedarfe des Kunden, wenn auch im positiven Sinne, übersteigen (Overengineering). Die Kennziffer der TFP eignet sich daher dazu, betriebliche Vergleiche so zu fundieren, dass daraus die richtigen Maßnahmen abgeleitet werden können (Kinkel et al. 2009).

Die jährliche Wertschöpfung bei Nutzern von Robotern und Handhabungssystemen liegt im Durchschnitt bei 1,9 der Faktorkosten, die bei Nicht-Nutzern bei 1,8 und zeigt keinen deutlichen Unterschied. Zwischen der Gruppe der Intensiv-Nutzer und der Gruppe der nicht intensiv nutzenden Betriebe ist kein statistisch belastbarer Unterschied festzustellen. Auch bei multivariater Betrachtung unter Kontrolle der Betriebsgröße, Branche, Exportumfang, Fertigungstiefe, Komplexität der hergestellten Produkte, der Seriengröße und der Produktion nach Kundenauftrag sind keine statistisch signifikanten Vorteile für Intensiv-Nutzer von Robotertechnik festzustellen (Anhang AI-6). D. h. Betriebe, die in ihrer Produktion Roboter und Handhabungssysteme in Bezug zur maximal sinnvollen Nutzungsmöglichkeit umfassend einsetzen, erzielen keine höhere Gesamtfaktorproduktivität als Betriebe ohne Roboter bzw. Betriebe, die Robotik nur in geringem Umfang einsetzen. Unterschiede in der Gesamtfaktorproduktivität sind nicht auf den Robotereinsatz zurückzuführen, sondern vielmehr wesentlich in der Exportorientierung, der Produktionsstruktur und der Wertschöpfungstiefe am Standort begründet.

3.4.3 Qualität/Ausschussquote

Als nächste Leistungskennziffer wird die Ausschussquote der Produktion betrachtet, d. h. wie viel Prozent der hergestellten Produkte bzw. Zwischenprodukte aufgrund einer Qualitätskontrolle eine Nachbearbeitung durchlaufen oder endgültig nicht verwertbar

sind. Diese Kennzahl gibt einen Hinweis auf die Qualität des Produkts und des vorangegangenen Produktionsprozesses.

Wieder sei auf Tabelle 3–2 verwiesen. Es zeigt sich, dass der Einsatz von Robotern im Durchschnitt mit einer geringeren Ausschussquote assoziiert ist. Der Umfang des Einsatzes von Robotern in der Produktion scheint dabei irrelevant zu sein. Eine umfassendere Nutzung führt im Schnitt nicht zu geringeren Ausschussquoten.

Diese Einschätzung hält auch einer multivariaten Betrachtung stand (Anhang AI-7). Auch unter Kontrolle von Betriebsgröße, Branche, Exportumfang, Fertigungstiefe, Komplexität der hergestellten Produkte, der Seriengröße und der Produktion nach Kundenauftrag erzielen Betriebe, die Roboter oder Handhabungssysteme in der Produktion einsetzen, eine geringere Ausschussquote als Betriebe ohne solche Technik. Hierbei ist es unerheblich, ob die Technologie nur erst in Ansätzen oder umfassend, wo immer sinnvoll möglich, eingesetzt wird. Bei weiteren Überlegungen gilt es mit einzubeziehen, dass die Höhe der Ausschussquote mit den Qualitätsanforderungen und -kontrollen in Betrieben zusammenhängt.

3.4.4 Termintreue

Eine weitere Leistungskennziffer ist der Anteil der Produkte, die termingerecht ausgeliefert werden konnten. Dies gibt einen Hinweis auf die Planungssicherheit und Prozesshandhabung von Betrieben. Wie Tabelle 3–2 verdeutlicht, zeigen Nutzer von Robotern eine durchschnittlich höhere Termintreue.

Beide Gruppenvergleiche – Nutzer gegenüber Nicht-Nutzer und Intensiv-Nutzer gegenüber Nicht-Intensiv-Nutzer – zeigen einen deutlichen Unterschied hinsichtlich der Termintreue der ausgelieferten fertigen Produkte. Beide Gruppenvergleiche verweisen auf statistisch signifikante Unterschiede. Die höchste und damit beste durchschnittliche Termintreue weist die Gruppe der Intensiv-Nutzer auf.

Interessant ist dabei, dass in allen vier Gruppen der Median bei 95 Prozent liegt, d. h. in allen vier Gruppen erreicht jeweils die Hälfte der Betriebe eine Termintreue von 95 Prozent. Die Werte der 5- und 95-Prozent-Perzentile verdeutlichen dabei, dass in allen Gruppen Betriebe mit bestem Ergebnis bei der Termintreue vorkommen. Starke Abweichungen nach unten, also Betriebe, denen nur zwei Drittel der Auslieferungen termingerecht gelingen, sind vor allem in der Gruppe der Nicht-Nutzer bzw. der Betriebe mit geringerem Einsatz von Robotern zu finden. Der Robotereinsatz scheint somit ein geeignetes Mittel, um flexibel auf Produkt- oder Prozessänderungen zu reagieren und Durchlaufzeiten zu verkürzen (Kleine et al. 2007).

Auch bei einer multivariaten Betrachtung wird der Unterschied zwischen Roboternutzern und Nicht-Roboternutzern deutlich. Betriebe mit Robotern in der Produktion erreichen eher einen überdurchschnittlichen Anteil termingerecht ausgelieferter Produkte als Betriebe ohne diese Technologie (vgl. Anhang AI-8).⁷ Allerdings produzieren Betriebe, die Roboter in größerem Umfang einsetzen – die so genannten Intensiv-Nutzer –, nicht termintreuer. Ein umfassenderer Einsatz von Robotern scheint keinen grundsätzlichen Vorteil in dieser Hinsicht zu liefern.

3.4.5 Beschäftigungsentwicklung

Abschließend wird die durchschnittliche jährliche Beschäftigungsentwicklung betrachtet. Dazu wird auf die Abschätzung der Entwicklung zwischen 2010 und 2012 zurückgegriffen. Der Indikator bildet sich aus der Differenz der Beschäftigtenzahl der beiden Zeitpunkte prozentuiert auf die durchschnittliche Änderung pro Jahr im Vergleich zum Stand 2011 und stellt damit lediglich eine Annäherung an das Phänomen Beschäftigungsentwicklung dar. Nichtsdestotrotz erlaubt dieser einen einfachen empirischen Vergleich der Entwicklung zwischen Betrieben mit und ohne Robotertechnologie in der Produktion.

Wie Tabelle 3–2 zeigt, divergieren die Mittelwerte und Mediane im deskriptiven, bivariaten Gruppenvergleich leicht, allerdings sind keine statistisch signifikanten Unterschiede festzustellen. Gleichzeitig wird allerdings auch deutlich, dass hier keine einfache Antwort zu geben ist, da die Standardabweichung in allen Gruppen auf eine enorme Streuung hinweist. Dabei ergibt sich folgende interessante Beobachtung: Die Hälfte der Betriebe mit Roboternutzung verzeichnete bei einem Median von 2,6 Prozent jährlichem Wachstum zwar eine höhere Beschäftigungsentwicklung als die Betriebe ohne diese Technik (Median: 2,2 Prozent jährliches Wachstum). Demgegenüber zeigen allerdings die Mittelwerte der Gruppen, dass Betriebe ohne Roboter z. T. ein deutlich höheres Wachstum verzeichneten und mit durchschnittlich 3,8 Prozent jährlichem Wachstum einen höheren Mittelwert aufweisen als Betriebe mit Roboternutzung mit 3,4 Prozent.

Diese große Varianz innerhalb der Gruppen ist auch nicht in einem multivariaten Modell durch die Kontrolle typischer Kenngrößen über den Betrieb, das Betriebsalter und die Innovativität der Produktion aufzulösen (siehe Anhang AI-9). Ob ein Betrieb in sei-

7 Trotz der metrischen Kenngröße sind die multivariaten Betrachtungen der Termintreue auf logistische Modelle begrenzt. Betrachtet wurde dabei die Abweichung vom Mittelwert wie auch vom Median. Eine lineare Modellierung, welche die Voraussetzung der Homoskedastizität erfüllt, konnte für abhängige Variablen nicht bestimmt werden.

ner Produktion Roboter einsetzt oder nicht, ist ohne Belang für die Entwicklung der Beschäftigtenzahl im Unternehmen. Laut den geschätzten Modellen ist vor allem die Umsatzentwicklung im gleichen Zeitraum entscheidend. Darüber hinaus sind jüngere Firmen dynamischer in der Entwicklung und können im Vergleich ein höheres Beschäftigtenwachstum realisieren. Wird die Umsatzentwicklung nicht in Rechnung gezogen, ist festzuhalten, dass Betriebe, die einen größeren Teil ihres Umsatzes mit neuen Produkten realisieren, ein größeres Wachstum zu verzeichnen hatten.

3.4.6 Roboternutzung und organisatorische Innovationen

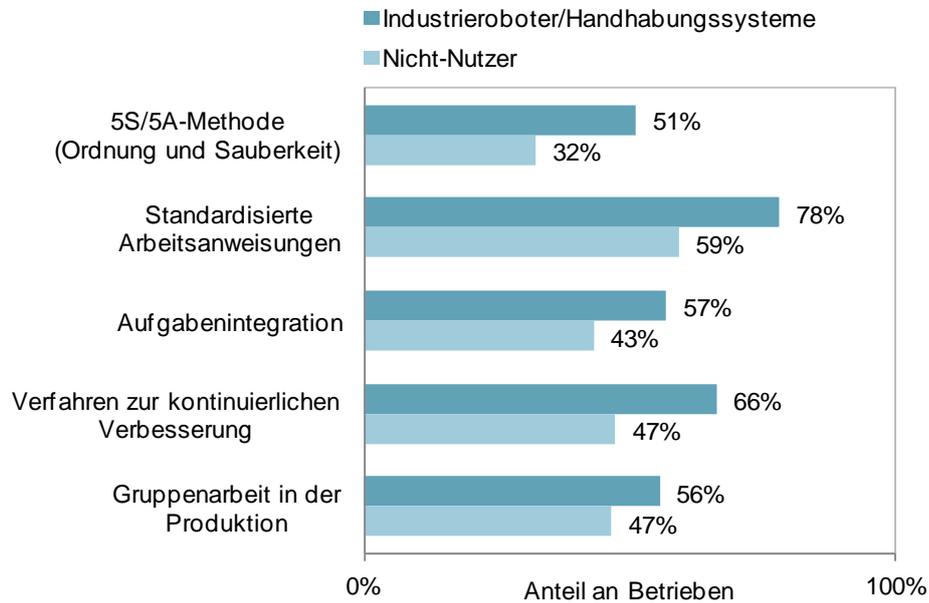
Technische Innovationen stehen zumeist im Vordergrund bei der Innovationsanalyse von produzierenden Betrieben. Ein Potenzial zur Steigerung der betrieblichen Leistungsfähigkeit birgt jedoch auch die Umsetzung neuer effizienzsteigernder Organisationskonzepte. Im Folgenden wird daher untersucht, ob Betriebe, die Roboter und Handhabungssysteme einsetzen und somit als innovative Techniknutzer bezeichnet werden können, auch in der Umsetzung organisatorischer Innovationen vorangehen.

Beim Einbringen neuer organisatorischer Konzepte steht Betrieben ein breites Spektrum zur Verfügung. Im Folgenden werden fünf innovative Konzepte zur Gestaltung von Arbeitsprozessen und der Arbeitsorganisation hinsichtlich ihrer Anwendung in Betrieben mit und ohne Nutzung von Robotern und Handhabungssystemen untersucht. Dies sind die Konzepte:

- 5S/5A
- Gruppenarbeit
- Verfahren zur kontinuierlichen Verbesserung
- Aufgabenintegration
- Standardisierte Arbeitsanweisungen

Die Verbreitung dieser organisatorischen Konzepte unter den Betrieben mit Roboter-technik und ohne ist in Abbildung 3-14 zusammengefasst. Der Anteil der Nutzer der betrachteten Konzepte in beiden Gruppen unterscheidet sich stark. Den begleitenden Mann-Whitney-Tests der Gruppenvergleiche folgend sind diese Unterschiede im bivariaten Vergleich, d. h. ohne Kontrolle sonstiger Einflüsse, als statistisch signifikant zu bezeichnen.

Abbildung 3-14: Verbreitung organisatorischer Konzepte unter Roboternutzern und Nicht-Nutzern



Erhebung *Modernisierung der Produktion 2012*, Fraunhofer ISI

Die aus Japan stammende **5S/5A-Methodik**⁸ gibt Handlungsempfehlungen, den Arbeitsplatz sauber und übersichtlich zu halten. Der Wirkungszusammenhang hierbei ist, dass durch Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz Verschwendung und Störungen im Ablauf minimiert werden können, Abläufe standardisiert werden und so die Qualität des Arbeitsprozesses erhöht werden kann. Übersicht und Sauberkeit erlauben einen klaren Blick auf die Arbeitsabläufe und unterstützen so eine Optimierung bestehender Prozesse sowie die Aufrechterhaltung effizienter Abläufe (Som und Jäger 2012; VDI 2010).

Es zeigt sich, dass über die Hälfte (51 Prozent) der Betriebe mit Anwendung Automatisierungstechnik die Prinzipien der 5S/5A-Methode anwenden, bei Nicht-Nutzern liegt der Anwenderanteil bei knapp einem Drittel (32 Prozent). Ein Grund für den deutlich höheren Anteil bei Anwendern von Robotern und Handhabungstechnik kann darin liegen, dass insbesondere in der Großserienproduktion Roboter eingesetzt werden. Lange Prozessketten mit vielen Bearbeitungsstellen bedürfen einer sehr guten Organisation, um Störungen und somit Stillstände des gesamten Prozessablaufs zu minimieren. Beschäftigten Hilfen an die Hand zu geben, Störungen im Arbeitsablauf zu reduzieren, kann als ein adäquates und notwendiges Mittel gesehen werden, diesen Anforderungen gerecht zu werden.

⁸ Auch „Rote Karte“-Methode genannt (VDI 2010)

Die Einführung der **Gruppenarbeit** gegenüber der Einzelarbeit hatte zum Ziel, Schnittstellen im Übergang zwischen Einzelarbeitsplätzen zu reduzieren sowie die Übermittlung von Kompetenzen durch die kleinere aufgabenorientierte Gruppenstruktur zu erleichtern (Kirner et al. 2009; Kinkel et al. 2007a). Die Gruppenarbeit folgt dem Ziel, dass alle Beschäftigten für alle Arbeitsschritte gleich qualifiziert sind (Kirner et al. 2009). Mit einer zunehmenden Spezialisierung im Arbeitsbereich mag diese Organisationsweise immer weniger passfähig zur heutigen Arbeitsorganisation und den Aufgabenanforderungen sein. Dies zeigt auch der seit 2003 stark verringerte Verbreitungsgrad von Gruppenarbeit im deutschen Verarbeitenden Gewerbe (vgl. hierzu Kinkel et al. 2007a).

Die Analyse zeigt, dass mehr Roboternutzer in ihrer Produktion Gruppenarbeitsprinzipien einsetzen als Nicht-Nutzer. Der Unterschied ist im Vergleich zu den anderen Konzepten am geringsten mit 9 Prozent. Ein deutlicher Unterschied zwischen Roboternutzung und Nicht-Roboternutzung liegt nicht vor.

Zusätzlich wurde betrachtet, ob Betriebe mit einem höheren Intensitätsgrad in der Nutzung von Robotern ein deutlich anderes Verhalten im Einsatz von neuen organisatorischen Konzepten aufweisen. Bei diesem Vergleich zeigt sich allein für das Konzept der Gruppenarbeit ein deutlicher Unterschied. 61 Prozent der Intensiv-Nutzer haben Gruppenarbeit in ihrer Produktion eingeführt, somit deutlich mehr als in der Gruppe der Roboternutzer überhaupt (56 Prozent). Gruppenarbeit ist ein Organisationsprinzip zur Steigerung der betrieblichen Flexibilität, weil ein fachbezogener personeller Engpass vermieden werden kann, da alle Beschäftigten der Gruppe gleich qualifiziert sind. Gleiche Qualifikation erleichtert insbesondere den flexiblen Einsatz von Robotern, weil Umrüsten und Umprogrammieren keine Engpassfunktionen darstellen. Da im Personal mit entsprechenden Bedienerkenntnissen eine wesentliche Voraussetzung zum Einsatz liegt, wäre eine zukünftige, wenn auch sehr spezifische Forschungsfrage, welcher Zusammenhang zwischen Gruppenarbeit und dem intensiven Einsatz vorliegt bzw. welche weiteren Merkmale für diese Schnittmenge an Betrieben relevant ist, beispielsweise Seriengröße, Betriebsgröße und Qualifikationsniveau.

Verfahren zur kontinuierlichen Verbesserung haben zum Ziel, durch stetige Verbesserung der Betriebsprozesse die Qualität dieser und somit auch der letztendlich resultierenden Produkte zu verbessern (Kirner et al. 2006). Methoden, die zum Prozessmanagement in diesem Sinne zählen, sind neben Kaizen auch Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) und Qualitätszirkel. Durch sich stetig ändernde Umfeld- und Marktbedingungen ist die Optimierung von Prozessen niemals abgeschlossen. Die kontinuierliche Verbesserung ist somit ein Leitgedanke, der einen dauerhaften Willen zur Optimierung jeweils bestehender Prozesse zum Ausdruck bringt (Kirner et al. 2009).

Eine Quelle für Verbesserungen und Innovationen sind Beschäftigte und ihre Erfahrung durch die tägliche Tätigkeitsausführung im Prozess.

Die Auswertung zeigt, dass Nutzer von Robotern und Handhabungssystemen deutlich häufiger dieses Konzept in ihrer Produktion umgesetzt haben (66 Prozent) als Nicht-Nutzer (47 Prozent). Dieser Unterschied ist aber mit den Strukturmerkmalen von Roboter-Nutzern in Verbindung zu setzen. So nutzen große Betriebe häufiger dieses Konzept als KMU (Som und Jäger 2012) und dieses Konzept ist häufiger bei technologie- und forschungsintensiven Branchen im Einsatz wie dem Fahrzeugbau und der Elektroindustrie (Kirner et al. 2006).

Aufgabenintegration beschreibt ein Arbeitsorganisationskonzept der Zusammenführung planender, steuernder und kontrollierender Aufgaben beim Werker und damit eine Abkehr von der Spezialisierung des einzelnen Beschäftigten auf ein eingeschränktes Tätigkeitsfeld bzw. eine Trennung von planenden und ausführenden Tätigkeiten (Kinkel et al. 2007b). Aufgabenintegration wird als ein Mittel zur Steigerung der betrieblichen Flexibilität gesehen (Lay und Maloca 2005). Neben der Gruppenarbeit wird die Aufgabenintegration zu den zentralen Maßnahmen zur operativen Dezentralisierung (Kinkel et al. 2007b). 57 Prozent der Nutzer von Robotern und Handhabungstechniken integrieren planende, steuernde oder kontrollierende Funktionen beim Werker, der Anteil bei Nicht-Nutzern liegt mit 43 Prozent niedriger. Wie vorangegangene Untersuchungen zeigen (Lay und Maloca 2005), spielen betriebliche Rahmenbedingungen auch für den Einsatz von Aufgabenintegration eine Rolle, zu nennen sind die Qualifikation der Beschäftigten und die Komplexität des Produkts. Lay und Maloca (2005) weisen in ihrer Untersuchung von Unterschieden in der Betriebsgröße darauf hin, dass nicht generell davon ausgegangen werden kann, dass Aufgabenintegration bei größeren Betrieben weiter vorangeschritten ist.

Die Erstellung und die Nutzung von **standardisierten und detaillierten Arbeitsanweisungen** ist eine organisatorische Maßnahme, Beschäftigte in ihrer Tätigkeitsausführung zu unterstützen, leicht und schnell in den neuen Arbeitsprozess hineinzukommen und Anlaufschwierigkeiten zu minimieren. Zudem unterstützen arbeitsprozessbezogene Vorgaben die standardisierte Ausführung, insbesondere um eine gleichbleibende Qualität oder das Einhalten von Zeitfenstern zu erreichen.

Zunächst zeigt sich, dass standardisierte Arbeitsanweisungen die höchste Verbreitung der betrachteten Konzepte sowohl unter Nutzern als auch Nicht-Nutzern mit 78 Prozent und 59 Prozent haben. Standardisierte Arbeitsanweisungen werden somit mehrheitlich im Verarbeitenden Gewerbe eingesetzt. Dennoch zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Nutzern und Nicht-Nutzern.

Es ist zu vermuten, dass in großen Betrieben eigene organisatorische Einheiten für das Erstellen und die Aktualisierung von standardisierten Arbeitsabläufen in der Produktion bestehen. Des Weiteren lässt sich argumentieren, dass standardisierte Abläufe für Betriebe mit Robotereinsatz aufgrund des hohen Anteils an Großserienfertigung von besonderer Bedeutung sind. Ein reibungsloses Ineinandergreifen von Tätigkeiten in die Linienproduktion erfordert standardisierte Vorgehensweisen.

3.4.7 Roboternutzung und Verlagerungsaktivitäten

Jäger et al. (2015) untersuchen in ihrer Studie die ökonomischen Auswirkungen von Robotik-Systemen auf europäischer Ebene basierend auf Auswertungen der Erhebung *Modernisierung der Produktion 2009* sowie des *European Manufacturing Survey 2009*. Eines der Kernergebnisse ist, dass Unternehmen, die Roboter nutzen, seltener Verlagerungsaktivitäten durchführen. Die Wahrscheinlichkeit für eine Verlagerung ist bei der Nutzung von Robotik-Systemen um 4 Prozent geringer, bei intensiver Roboternutzung sogar um 8 Prozent. Es wird davon ausgegangen, dass Unternehmen, die Roboter einsetzen, eher in der Lage sind, Größenvorteile zu realisieren als Nichtnutzer. Das erlaubt es ihnen, Produktionsprozesse mit hoher Produktivität und Profitabilität auch in Hochlohnländern umzusetzen (Jäger et al. 2015). Eine Darstellung zum Thema Verlagerungs- und Rückverlagerungsaktivitäten allgemein findet sich in Anhang II.

3.5 Direkte Wertschöpfung durch die Herstellung von Robotik- und Automatisierungslösungen

3.5.1 Abschätzung der direkten Wertschöpfung in Deutschland

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, den direkten Wertschöpfungsbeitrag der Herstellung von Industrierobotern und Handhabungssystemen in Deutschland abzuschätzen. Im Folgenden wird kurz das Vorgehen und die herangezogenen Datenquellen beschrieben.

3.5.1.1 Vorgehen und Datenquellen

Für die Schätzung der Wertschöpfung und der verbundenen Beschäftigung wurde das aktuelle Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (im weiteren GP) in der Version (GP 2009), die im Januar 2009 in Kraft trat und seither Anwendung findet (Statistisches Bundesamt 2008a), herangezogen. Das GP dient der statistischen Erfassung der Produktion in den Bereichen Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden und für das Verarbeitende Gewerbe (Statistisches Bundesamt 2015a; 2015b). Das GP ist eine Klassifikation von Gütern für alle produzierenden Wirtschaftsbereiche. Es klassifiziert die einzelnen Waren und Güter mittels neun Stellen in jeweiliger Zuordnung an die Wirt-

schaftszweige. Die jeweiligen Produktionswerte für die Güter und Waren auf 9-Steller-Ebene werden in der Produktionsstatistik ausgewiesen, welche insgesamt 5.208 verschiedene Güterarten entsprechend der GP auflistet. Durch eine übereinstimmende Kodierung der ersten vier Stellen in beiden Klassifikationen (Statistisches Bundesamt 2008b) lässt sich das GP für die Bereiche Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden und für das Verarbeitende Gewerbe mit der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) verknüpfen.

In einem ersten Schritt wurden einzelne Güter der Automatisierungstechnik und Robotik innerhalb des GP identifiziert. Zur Identifikation relevanter Güter und Waren wurde auf die Klassifikation des VDMA für den Fachzweig „Robotik und Automation“ Bezug genommen, die sich auf die 9-Steller des Güterverzeichnis (2009) bezieht. Der Fachverband Robotik und Automation ist einer der 38 Fachverbände des VDMA (VDMA 2015a). Der Fachverband subsummiert dabei drei Teilbranchen: Robotik, Integrated Assembly Systems (Montage- und Handhabungstechnik) und Industrielle Bildverarbeitung (VDMA und McKinsey 2014).⁹ Die vom VDMA gelisteten GP-Nummern beziehen sich dabei hauptsächlich auf Industrieroboter, Montage- und Handhabungstechnik sowie auf Dienstleistungen zur Reparatur bzw. Installation von Montagetechnik. Anhand der im Güterverzeichnis vergebenen Kodierung (9-Steller) wurde in einem zweiten Schritt in der vom Statistischen Bundesamt herausgegebenen jährlichen Produktionsstatistik der Produktionswert je Güterart identifiziert. Tabelle 3–3 listet die Güter und Waren entsprechend der VDMA-Klassifikation, auf die sich die weiteren Ausführungen beziehen, tabellarisch auf.

Für die Abschätzung der Wertschöpfung und Beschäftigung für den Bereich „Robotik und Automatisierung“ wird dem Vorgehen von Moos et al. (2013) gefolgt, die diese Effekte für die Fügetechnik herausgearbeitet haben. Das Verfahren von Moos et al. (2013) unterteilt sich in drei Schritte. Im ersten Schritt werden die relevanten Güterarten ermittelt, darauf aufbauend in einem zweiten Schritt die Produktionswerte. Über die durchschnittliche branchenspezifische Wertschöpfungsquote und Arbeitsproduktivität aus dem Maschinenbau und der Reparatur und Instandhaltung von Anlagen und Maschinen, in der die Hersteller von „Robotik und Automation“ entsprechend der VDMA-Einteilung angesiedelt sind, wird dann in einem dritten Schritt die mit der Produktion verbundene direkte Wertschöpfung und Beschäftigung geschätzt (Moos et al. 2013).

⁹ Rund 250 Mitgliedsunternehmen des VDMA sind im Bereich Robotik und Automation aktiv (VDMA 2014a), im Bereich Robotik 60 (VDMA 2015c).

Tabelle 3–3: Listung GP zu Robotik und Automation des VDMA

GP Nummer	Bezeichnung	Güterart
GP09-289939350	Mehrzweck-Industrieroboter	Produkt
GP09-289939552	Montagemaschinen (mit manuellen Tätigkeiten)	Produkt
GP09-289939553	Montageautomaten	Produkt
GP09-289939554	Montagelinien	Produkt
GP09-289939555	Aufbaueinheiten, Kennzeichnungseinheiten zum Prägen	Produkt
GP09-289939557	Handhabungsgeräte für automatische Zufuhr und Entnahme	Produkt
GP09-289939558	Manipulatoren	Produkt
GP09-289939559	Greif- u. Spanneinrichtungen für Handhabungsgeräte	Produkt
GP09-289952807	Teile für andere Maschinen für automatische Montagetechnik	Produkt
GP09-331229904	Reparatur von Maschinen für die Montagetechnik	Dienstleistung
GP09-332039005	Installation von Maschinen für automatische Montagetechnik	Dienstleistung

Quelle: VDMA (2014b), S. 219

3.5.1.2 Abschätzung von Produktionswert, Wertschöpfung und Beschäftigung

Die vierteljährliche Produktionserhebung liefert für diese Gütergruppen den **Produktionswert** (in Euro und Stück) und die in jeder Güterklasse gezählten Unternehmen (produzierende Betriebe mit im Allgemeinen 20 oder mehr Beschäftigten) (Statistisches Bundesamt 2015c). Der Produktionswert ist der Wert der zum Absatz bestimmten Produktion von inländischen Unternehmen. Die Bruttowertschöpfung resultiert dabei aus der Differenz von Produktionswert und der eingesetzten Vorleistungen. Tabelle 3–4 listet zusätzlich zum Produktionswert weitere Kerndaten zum Bereich „Robotik und Automation“ aus der Produktionsstatistik (Statistisches Bundesamt 2015c) auf.¹⁰

Die Schätzungen beziehen sich auf das Jahr 2012. Grund hierfür ist zum einen, in der Darlegung von Roboternutzern und Roboterherstellern ein konsistentes Bild zu zeichnen, indem sich die Analysen von Daten auf das gleiche Jahr beziehen, zum anderen sind für die Abschätzung notwendige Daten aus den Statistiken des Statistischen Bundesamtes für spätere Jahrgänge noch nicht durchgängig verfügbar.

Tabelle 3–4 zeigt die prozentuale Verteilung des Gesamtproduktionswerts von etwa sechs Milliarden auf die einzelnen Güterarten bzw. Dienstleistungen.

¹⁰ Anhang AI-10 listet die Definition für die Begriffe Bruttowertschöpfung, Produktionswert und Vorleistungen entsprechend nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes.

Tabelle 3–4: Produktionswerte Bereich „Robotik und Automation“ 2012

Gütergruppe	Produktionswert in Tausend Euro	Absatz- menge in Stück	Anzahl der Unterneh- men	Produktionswert in % des jeweili- gen WZ*
Mehrzweck-Industrieroboter	848.182	24.781	27	0,4 %
Montagemaschinen (mit manuellen Tätigkeiten)	870.046	14798	86	0,5 %
Montageautomaten	996.675	9.411	67	0,5 %
Montagelinien	1.400.153	9.115	78	0,7 %
Aufbaueinheiten, Kennzeich- nungseinheiten zum Prägen	82.472	9.960	14	0,0 %
Handhabungsgeräte f. automati- sche Zufuhr u. Entnahme	378.809	13.635	57	0,2 %
Manipulatoren	119.519	47.319	15	0,1 %
Greif- u. Spanneinrichtungen für Handhabungsgeräte	360.332	498.365	30	0,2 %
Teile f. andere Maschinen f. automatische Montagetechnik	804.419	-	140	0,4 %
<i>Maschinenbau (WZ 28)</i>				3,1 %
Reparatur von Maschinen für die Montagetechnik	70.204	-	71	0,2 %
Installation v. Maschinen f. au- tomatische Montagetechnik	350.326	-	47	1,0 %
<i>Reparatur, Instandhaltung von Maschinen, Ausrüstungen (WZ 33)</i>				1,2 %
Gesamt	6.281.137		632	

* Wirtschaftszweig Maschinenbau und Wirtschaftszweig Reparatur, Instandhaltung von Maschinen, Ausrüstungen

Quelle: Vierteljährliche Produktionserhebung Genesis 42131-0003 (abgerufen am 16.6.2015) und 42131-0001 (abgerufen am 16.6.2015) und eigene Berechnungen

Die Schätzungen beziehen sich auf das Jahr 2012. Grund hierfür ist zum einen, in der Darlegung von Roboternutzern und Roboterherstellern ein konsistentes Bild zu zeichnen, indem sich die Analysen von Daten auf das gleiche Jahr beziehen, zum anderen sind für die Abschätzung notwendige Daten aus den Statistiken des Statistischen Bundesamtes für spätere Jahrgänge noch nicht durchgängig verfügbar.

Eine Schätzung für die Anteile des Produktionswerts, die in den Bereich „Robotik und Automatisierung“ eingehen (analog zu FTB), wurde nicht vorgenommen, da keine Informationen hierzu vorliegen. Bei Moos et al. (2013) wurde bspw. der Anteil der Klebetechnik auf 30 Prozent des Produktionswerts geschätzt, da nur das strukturelle Kleben in der Studie erfasst werden sollte. Die Produktionswerte für das Jahr 2014 sind ebenfalls bereits verfügbar und in Anhang AI-11 dargestellt.

Tabelle 3–5: Direkte Wertschöpfung- und Beschäftigungseffekte aus der Herstellung von Gütern im Bereich „Robotik und Automation“

Gütergruppe	Wert der zum Absatz bestimmten Produktion in Tausend Euro	Quelle
Mehrzweck-Industrieroboter	848.182	1
Montagemaschinen (mit manuellen Tätigkeiten)	870.046	
Montageautomaten	996.675	
Montagelinien	1.400.153	
Aufbaueinheiten, Kennzeichnungseinheiten z. Prägen,	82.472	
Handhabungsgeräte f. automatische Zufuhr u. Entnahme	378.809	
Manipulatoren	119.519	
Greif- u. Spanneinrichtungen für Handhabungsgeräte	360.332	
Teile f. andere Maschinen f. automat. Montagetechnik	804.419	
<i>Maschinenbau (WZ 28)</i>	5.860.607	
Reparatur von Maschinen für die Montagetechnik	70.204	
Installation v. Maschinen f. autom. Montagetechnik	350.326	
<i>Reparatur, Instandh. von Maschinen, Ausrüstungen (WZ 33)</i>	420.530	
Summe Robotik und Automation	6.281.137	
Abschätzung der Vorleistungen		
Vorleistungsquote (in %) der Hersteller von "Robotik und Automatisierung"		2
<i>Maschinenbau</i>	62,25%	
<i>Reparatur, Instandh. von Maschinen, Ausrüstungen</i>	59,4%	
Vorleistungen in Tausend Euro		
<i>Maschinenbau</i>	3.662.879	
<i>Reparatur, Instandh. von Maschinen, Ausrüstungen</i>	249.795	
Vorleistungen Summe Robotik und Automation	3.912.674	
Abschätzung für die Wertschöpfung		
Wertschöpfungsquote (in %) der Hersteller von Robotik und Automation		2
<i>Maschinenbau</i>	37,75%	
<i>Reparatur, Instandh. von Maschinen, Ausrüstungen</i>	40,6%	
Bruttowertschöpfung in Tausend Euro		
<i>Maschinenbau</i>	2.197.728	
<i>Reparatur, Instandh. von Maschinen, Ausrüstungen</i>	170.735	
Bruttowertschöpfung Summe Robotik und Automation	2.368.463	
mit der Bruttowertschöpfung verbundene Beschäftigung		
nachrichtlich: Arbeitsproduktivität (BWS je Erwerbstätige in Tausend €)		3
<i>Maschinenbau</i>	79	
<i>Reparatur, Instandh. von Maschinen, Ausrüstungen</i>	61	
Verbundene Beschäftigung - Erwerbstätige	30.520	
<i>Maschinenbau - RuA</i>	27.725	
<i>Reparatur, Instandh. von Maschinen, Ausrüstungen - RuA</i>	2.795	

Quellen: (1) Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken und Vierteljährliche Produktionserhebung Genesis 42131-0003. (2) VGR: Vorleistungen und Produktionswert; eigene Berechnung Quote. (3) VGR: Bruttowertschöpfung und Erwerbstätige, eigene Berechnung Arbeitsproduktivität (BWS/ET)

Tabelle 3–5 fasst die einzelnen Schritte zur Schätzung und jeweilige Ergebnisse zusammen. Die **Bruttowertschöpfung** ermittelt sich aus dem Produktionswert abzüglich der Vorleistungen (Statistisches Bundesamt 2015c).¹¹

Der Wert der Vorleistungen für das Jahr 2012 wird aus der VGR (Genesis 81000-0101 bzw. 81000-0102) für die Bereiche Maschinenbau und Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen entnommen, ebenso wie die Produktionswerte. Hierdurch kann die Vorleistungsquote für das Jahr 2012 errechnet werden. Diese wird als Schätzwert für die Vorleistungsquote des Bereichs „Robotik und Automation“ herangezogen. Durch eine Anwendung der Vorleistungsquote auf den Produktionswert, lässt sich die Bruttowertschöpfung im Bereich „Robotik und Automation“ berechnen.

Die **Arbeitsproduktivität** weist die Bruttowertschöpfung in jeweiligen Preisen je Erwerbstätigen aus. Die Arbeitsproduktivität wird berechnet als Anteil der Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen basierend auf den Angaben der VGR. Unter Rückgriff auf die durchschnittliche Arbeitsproduktivität je Wirtschaftszweig, wird ausgehend von der Bruttowertschöpfung die mit dieser verbundene Beschäftigung ermittelt (Moos et al. 2013).

Bei der Schätzung wird unterstellt, dass die Produktionsprozesse für die Herstellung von Robotik und Automationslösungen ähnlich ablaufen wie diese im Maschinenbau und in der Erbringung industrieller Dienstleistungen. Wie Moos et al. (2013) dies bereits darlegen, ist die Annahme auf diesem Aggregationsniveau gerechtfertigt. Diese Annahme ermöglicht es, Aussagen für die Gesamtbranche auf die Gruppe der Hersteller von Robotik und Automation zu übertragen. So ergeben sich bei der Übertragung der Vorleistungsquote im Maschinenbau bzw. des Bereichs industrieller Dienstleistungen auf die Gütergruppen von „Robotik und Automation“ Vorleistungen in Höhe von gesamt 3,9 Milliarden Euro. Für die Wertschöpfung, die direkt mit der Herstellung von Robotik und Automation verbunden ist, erhält man den Wert von 2,3 Milliarden. Die ausgehend von der Bruttowertschöpfung ermittelte verbundene Beschäftigung liegt bei etwa 30.000 Beschäftigten.

Neben der Ableitung bzw. Schätzung der Wertschöpfung und Beschäftigung bietet auch der VDMA eigene Statistiken für die Beschäftigtenanzahl im Fachzweig „Robotik und Automation“ an (siehe Tabelle 3–6).

Der Vergleich zeigt, dass die geschätzte Beschäftigtenanzahl nicht deutlich von der des VDMA abweicht. Die Wertereihe Produktion beschreibt den Produktionswert, da dieser

¹¹ Das Vorgehen zur Berechnung der Bruttowertschöpfung zeigt Anhang AI-12.

nach den Vorgaben des VDMA berechnet wurde, liegen die gleichen Werte vor. Wie die vom VDMA angegebenen Anteile des Exportumsatzes im Vergleich zum Maschinenbau zeigen, liegen dahingehend Unterschiede zum Bereich „Robotik und Automation“ vor, dass dieser einen geringeren Anteil am Umsatz mit Verkauf der Güter ins Ausland erzielt als der Maschinenbau im Durchschnitt.

Tabelle 3–6: Kennzahlen Robotik und Automation des VDMA

	Einheit	2009	2010	2011	2012	2013
Beschäftigte	Tausend	24,3	24,8	26,5	29,4	31,8
Produktion	Mio. Euro	3857	4659	5765	6281	6548
Anteil am Maschinenbau	Prozent	2,6	2,8	3,1	3,2	3,4
Exportumsatz in Prozent des Gesamtumsatzes	Prozent	40,9	39,5	44,2	44,3	46,8
zum Vergleich: Maschinenbau	Prozent	67,1	68,0	68,5	68,8	69,0
Erzeugerpreisindex (Basis 2010 = 100)	Index	100,1	100,0	104,0	106,2	107,0

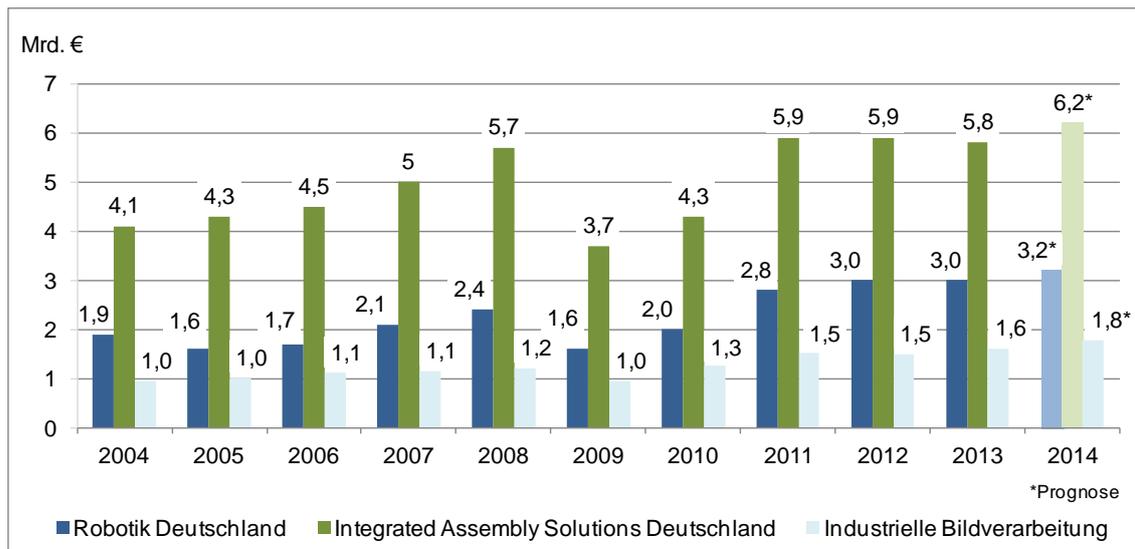
Quelle: VDMA (2014a), S. 220

Weitergehende Analysen hinsichtlich der Exportorientierung, Auslandsnachfrage und indirekter Effekte, die sich aus Vorleistungsverflechtungen mit anderen Branchen und hier bestehenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten ergeben, wie sie Moos et al. 2013 für die Fügetechnik ausweisen, sind im Rahmen dieser Studie nicht durchführbar. Zudem zeigen die Unterschiede im Exportumsatz, dass Unterschiede zum Maschinenbau insgesamt bestehen. Der Mehrwert durch die Abschätzungen zu Wertschöpfung und Beschäftigung liegt darin, dass Vergleiche im Zeitablauf über öffentlich zugängliche Daten durchgeführt werden können. Allerdings wäre es von großem Interesse zu untersuchen, ob und welche Besonderheiten in den Wertschöpfungsnetzwerken für Automatisierungstechnik bestehen.

In weiteren Publikationen zum Fachzweig „Robotik und Automation“ präsentiert der VDMA auch einen Verlauf des Gesamtumsatzes (vgl. Abbildung 3-15). Es zeigt sich für alle drei Teilbereiche ein ähnlicher Verlauf: ein leichter Anstieg bis zum Jahr 2008, ein Rückgang im Jahr 2009 bedingt durch Wirtschafts- und Finanzkrise, hierauf anschließend eine Zunahme. Interessanterweise zeigt dabei der Bereich Robotik für das Jahr 2013 eine Stagnation im Gesamtumsatz, der Bereich IAS einen leichten Rückgang. Es ist daher mit Spannung abzuwarten, ob die positiven Prognosen für 2014 zutreffen.

Hinsichtlich des Gesamtumsatzes ist anzumerken, dass die ausgewiesenen Umsatzwerte für alle drei Teilbereiche deutlich über den Produktionswerten liegen, die sich aus der Aufsummierung der Produktionswerte der einzelnen Güterarten nach Angabe des Statistischen Handbuchs des VDMA ergeben (siehe Tabelle 3–4).

Abbildung 3-15: Gesamtumsatz (Inland + Export) nach Teilbereichen „Robotik und Automation“



Quelle: Darstellung in Anlehnung an VDMA (2014c), S. 7-9

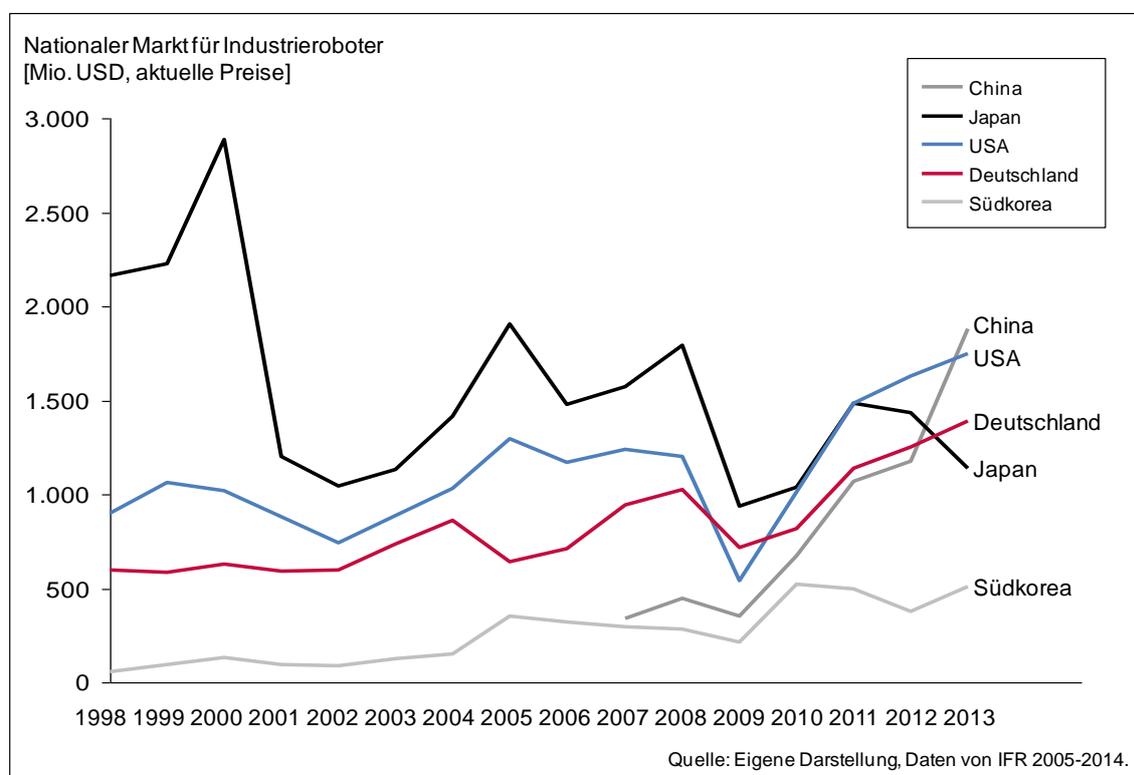
Dem Produktionswert liegen die erzielten oder erzielbaren Verkaufspreise ab Werk zugrunde (Produktionsstatistik 2014). Der Produktionswert gibt daher den maximal erzielbaren Umsatz vor, da hierin auch die bereits erstellten, jedoch noch nicht verkauften Produkte in ihrem Wert berücksichtigt werden. Der Produktionswert für das Jahr 2012 aus der Produktionsstatistik liegt bei 6,2 Milliarden Euro und fußt im Wesentlichen auf der Herstellung von Robotern und Montage- und Handhabungstechnik. Der Gesamtumsatz aus Import und Export aus den Berechnungen des VDMA liegt bei 8,9 Milliarden Euro für beide Teilbereiche somit deutlich höher als der Produktionswert aus den offiziellen Statistiken. Ein Hauptgrund für diesen Unterschied ist in den Handelswaren zu sehen, die im Gesamtumsatz inkludiert sind, jedoch nicht im Produktionswert.

3.5.2 Abschätzung von Marktvolumina und Preisentwicklungen bei Robotern im internationalen Vergleich

Die IFR erhält von einigen Ländern über die nationalen Roboterverbände Schätzungen zum Marktvolumen von Industrierobotern. Diese Daten werden im Folgenden vorgestellt. Basierend auf diesen Daten trifft die IFR Annahmen zum Verkaufswert pro Roboter und gibt Abschätzungen des globalen Robotermarkts ab. Das globale Marktvolumen

für Industrieroboter 2013 lag bei 9,5 Milliarden US-Dollar. Dieser Wert umfasst aber nicht die Kosten für Software, Peripheriegeräte und Systemtechnik. Inklusive dieser Komponenten ist das Marktvolumen ca. 3-mal so hoch einzuschätzen und liegt bei 29 Milliarden US-Dollar (IFR 2014). Die fünf Länder mit den größten nationalen Marktvolumina sind China, die USA, Deutschland, Japan und Südkorea. Sie vereinen für 2013 ca. 70 Prozent des weltweiten Marktvolumens und bilden somit die Kernmärkte für Industrieroboter.

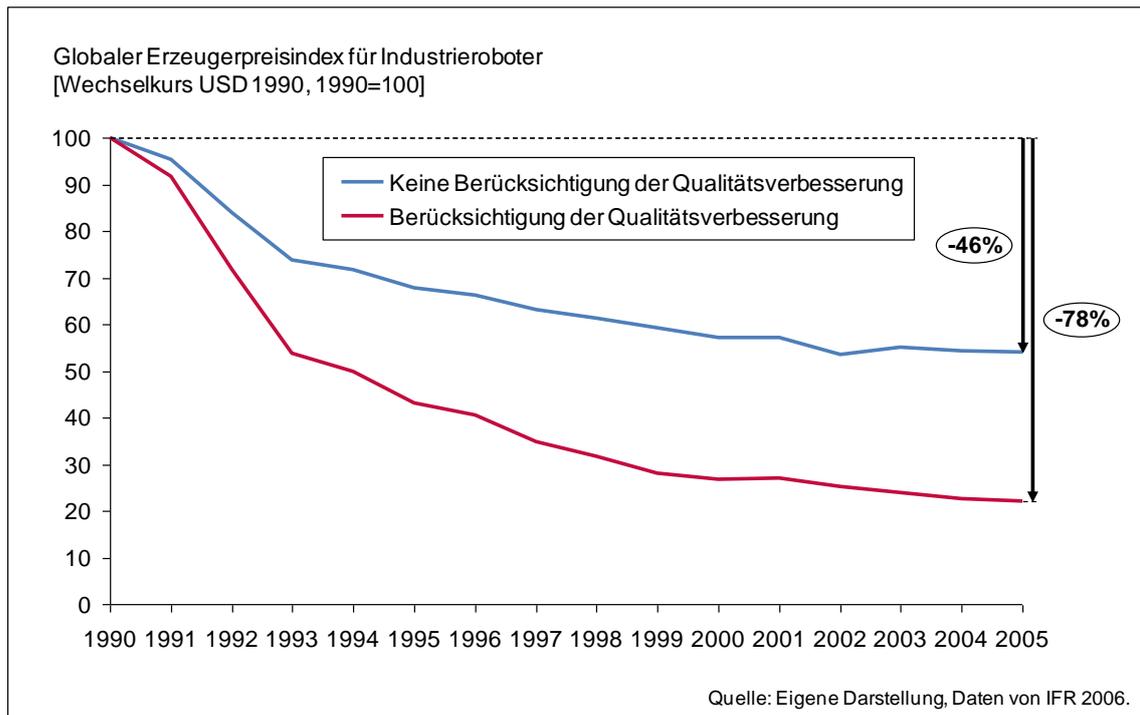
Abbildung 3-16: Nationaler Markt für Industrieroboter in Millionen US-Dollar (aktuelle Preise, unter Verwendung der Jahresmittelwerte für Wechselkurse)



Länder, deren Bestand an Robotern in den letzten Jahren sehr stark gewachsen ist, wie China, Südkorea und die USA (vgl. Abbildung 3-16), können erwartungsgemäß auch einen wachsenden nationalen Markt verzeichnen. Das Wachstum des Bestands an Robotern in China um 107 Prozent von 2011 auf 2013, bildet sich in einem rasant wachsenden finanziellen Volumen ab. So hat sich das Marktvolumen für Industrieroboter in China seit 2007 fast verfünffacht, wodurch China mittlerweile weltweit an der Spitze liegt. Die zunehmende Technisierung der chinesischen Industrie in Verbindung mit stetigem Wirtschaftswachstum ist als Grund für das starke Wachstum anzuführen. In den USA ist der Bestand an Industrierobotern zwischen 2011 und 2013 um 36 Prozent angewachsen, was sich in einer vergleichbaren Marktentwicklung widerspiegelt. Interes-

sant zu bewerten ist, dass der deutsche Markt, ausgedrückt in US-Dollar, zwischen 2011 und 2013 um eine zweistellige Wachstumsrate zugenommen hat, der Bestand an Robotern aber nur um 3 Prozent. Es ist zu vermuten, dass Roboter mit verbesserter Qualität am Markt zu entsprechend höheren Preisen verkauft werden konnten.

Abbildung 3-17: Globaler Erzeugerpreisindex für Industrieroboter mit Basisjahr 1990



Mit wenigen Ausnahmen (beispielsweise durch die Weltwirtschaftskrise in 2009) ist der nationale Markt für Industrieroboter in allen Ländern relativ kontinuierlich gewachsen, mit Ausnahme von Japan. Insgesamt ist auffällig, dass die Entwicklungen des nationalen Markts für Industrieroboter der Entwicklung des nationalen BIP ähnlich ist. In wirtschaftlich stabilen Zeiten haben Industrieunternehmen zum einen in der Regel mehr finanzielle Mittel für Investitionen zur Verfügung, zum anderen ist das Sicherheitsempfinden für eine Investition höher. So sind für Japan die schwache wirtschaftliche Entwicklung in den letzten Jahren sowie ein insgesamt leicht sinkender Bestand an Industrierobotern als Gründe für den schrumpfenden Markt für Industrieroboter zu sehen. Darüber hinaus hat Japan den weltweit höchsten Bestand an Industrierobotern aufgebaut und eine hohe Roboterdichte erreicht, wodurch der Markt sich inzwischen in einer Konsolidierungsphase befindet und statt Neuinvestitionen lediglich Ersatzinvestitionen getätigt werden.

Die IFR berechnet zusätzlich jeweils den globalen Erzeugerpreisindex für Industrieroboter mit und ohne Berücksichtigung von Qualitätsverbesserungen. Der Index basiert auf Daten von fünf internationalen Roboterherstellern, die einen sehr großen Anteil des europäischen Marktes sowie einen Großteil des nordamerikanischen und des restlichen globalen Marktes, mit Ausnahme Japans, repräsentieren. Jeder Roboterhersteller stellt Preis- und Mengeninformationen sowie Details zu den technischen Charakteristika zu zwei bestimmten Robotern zur Verfügung, die jeweils eine hohe Verbreitung in ihrem jeweiligen Segment aufweisen. Die dargestellten Roboter (nicht Robotersysteme) sind Mehrzweckroboter und zeichnen sich durch fortschrittliche Technologie und hohe Wachstumsraten in ihrer Verbreitung aus. Die Preise der Roboter werden dabei jeweils in der nationalen Währung angegeben und auf Basis des Wechselkurses zum US-Dollar von 1990 umgerechnet. Die konkreten Berechnungen des Indexes beruhen auf dem Basisjahr 1990 unter Verwendung des Fisher-Preisindex (geometrisches Mittel der Preisindizes nach Paasche und Laspeyres). Eine Betrachtung des globalen Erzeugerpreisindex für Industrieroboter zeigt, dass die Preise seit 1990 um fast 50 Prozent gesunken sind (vgl. Abbildung 3-17). Zieht man in Betracht, dass sich seit 1990 generell die Qualität von Industrierobotern deutlich verbessert hat, ergibt sich eine Reduktion der Preise um fast 80 Prozent. Insbesondere Anfang der 1990er-Jahre sind große Qualitätsverbesserungen erzielt worden, seit 2000 ist dies kaum noch der Fall.

3.6 Nutzung von IKT im Verarbeitenden Gewerbe

Die Bedeutung von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) im Verarbeitenden Gewerbe nimmt immer weiter zu (Frey et al. 2014). IKT wird zunehmend auch im produktionsnahen Umfeld angewendet und findet Eingang in Maschinen und Anlagen sowie deren Komponenten. Im Rahmen dieser Studie zu Robotik und Automatisierung im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands ist von Interesse, inwieweit Techniken zur digitalen Fabrik und zur IT-Vernetzung im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland im direkten Produktionsumfeld eingesetzt werden und inwieweit ein Zusammenhang zum Einsatz von Robotertechnologie besteht.

Betrachtet werden dafür drei Gruppen an Digitalisierungstechnologien: Technologien, die als **ergänzende IKT** üblicherweise eng mit der Robotertechnologie verknüpft sind, IKT aus dem Bereich **Logistik** sowie **FuE und Produktion unterstützende IKT**. Im Einzelnen sind dies folgende Technologien bzw. Technologiefelder:

Ergänzende IKT

- **Technologien für Mensch-Maschine-Kooperation** (Systeme zur sicheren Kooperation von Mensch und Maschine, wie z. B. kooperative Roboter und „zaunfreie“ Stationen)
- **Multimodale Programmiermethoden in der Automatisierung** (Systeme zum intuitiven und multimodalen Programmieren von Produktionsanlagen, wie z. B. Sprach-eingabe, Gestenerkennung und Lernfahrten)

Logistik unterstützende Technologien

- **Digitales Supply Chain Management** (digitaler Austausch von Dispositionsdaten mit Zulieferern und Kunden)
- **Automatisiertes Lagerverwaltungssystem** (Systeme zur Steuerung und Verwaltung der internen Logistik und Kommissionierung)

FuE und Produktion unterstützende Technologie

- **Virtual Reality oder Simulation zur Produktionsauslegung** (Systeme zur Visualisierung, Simulation und Optimierung von Produktionsabläufen und einzelnen Prozessschritten)
- **Virtual Reality oder Simulation zur Produktauslegung/-entwicklung** (Systeme zur Unterstützung von Forschung und Entwicklung bei der Produktentwicklung, wie z. B. FEM und Digital Prototyping)
- **Product Lifecycle Management-Systeme** (Systeme zur lebenszyklusübergreifenden Verwaltung von Produkt- und Prozessdaten)
- **Ideenmanagement-Systeme** (Systeme zum Speichern und Verwalten von Ideen in Bezug auf Produkt- und Prozessinnovationen)

Nicht alle dieser IKT-Technologien sind dem in Kapitel 5 diskutierten Konzept „Industrie 4.0“ zuzurechnen. Letzterem sind vielmehr zuzurechnen:

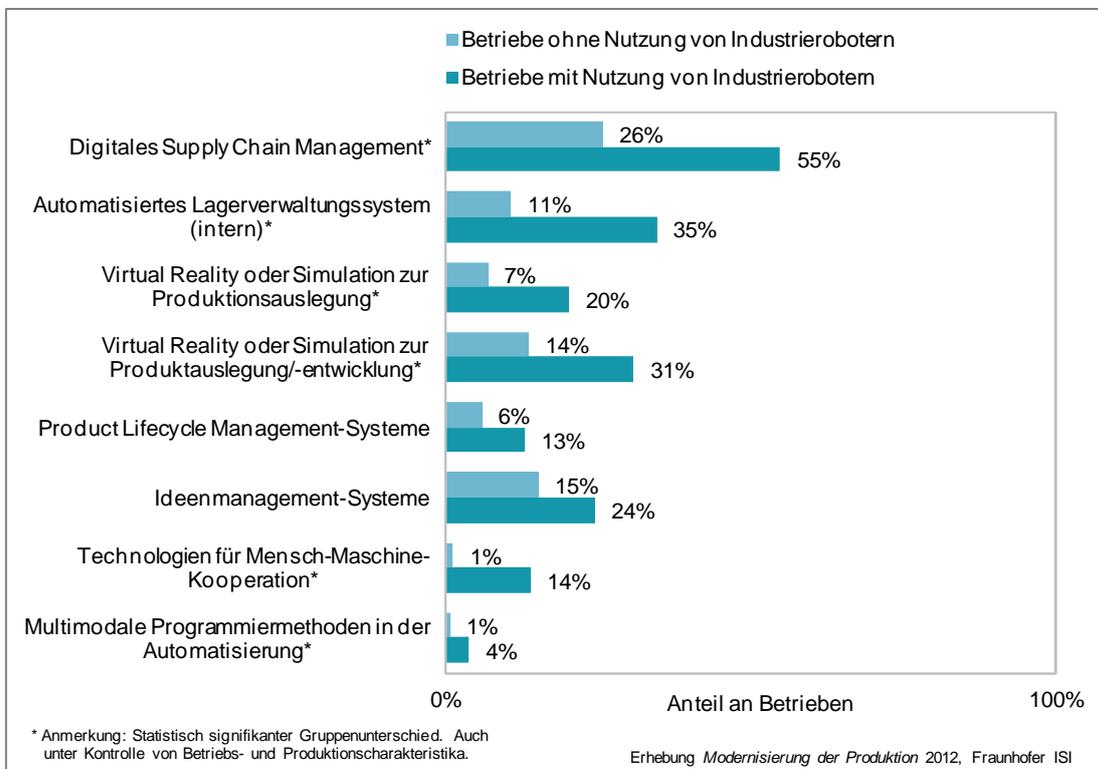
- Digitales Supply Chain Management
- Automatisiertes Lagerverwaltungssystem
- Virtual Reality oder Simulation zur Produktionsauslegung
- Virtual Reality oder Simulation zur Produktauslegung/-entwicklung
- Product Lifecycle Management-Systeme

3.6.1 Verbreitung von Digitalisierungstechnologien

Abbildung 3-18 stellt die Verbreitung von Digitalisierungstechnologien unter Betrieben mit Roboternutzung und unter Betrieben ohne Roboternutzung für das Jahr 2012 dar. Deutlich wird, dass die beiden „roboternahen“ Technologien – wie erwartet – praktisch nur in Betrieben mit Roboternutzung Anwendung finden.

Logistik unterstützende IKT haben bereits eine große Verbreitung im Verarbeitenden Gewerbe gefunden. Auch FuE und Produktion unterstützende Technologien werden schon von einem relevanten Anteil der Betriebe genutzt. Technologien zur Unterstützung von FuE und Produktion wie auch Logistik unterstützende Technologien kommen dabei auch bei Nicht-Nutzern zum Einsatz. Trotzdem ist die Nutzerrate bei Betrieben mit Robotern im Vergleich dazu zumeist mehr als doppelt so hoch. Lediglich der Einsatz von Ideenmanagement-Systemen ist auch bei Nicht-Nutzern vergleichsweise häufig anzutreffen. Insgesamt zeigt sich, dass Roboternutzer auch in anderen Technologiefeldern sehr aktiv sind und im Vergleich zu Nicht-Nutzern häufiger IKT einsetzen.

Abbildung 3-18: Anwendung von Digitalisierungstechnologien bei Roboternutzern gegenüber Nicht-Roboternutzern 2012



Multivariate Betrachtungen der Nutzung der hier gelisteten IKT unter Kontrolle von Betriebsmerkmalen wie Betriebsgröße, Branche, Exportumfang, Fertigungstiefe, Komplexität der hergestellten Produkte, Seriengröße sowie der Einsatz von Robotern stützen diesen deskriptiven Eindruck. Für den Einsatz von „roboternahen“ Technologien (ergänzende IKT) ist nur relevant, ob Roboter in der Produktion genutzt werden. Alle anderen Faktoren spielen keine Rolle. Die Chance, dass ein Unternehmen Logistik unterstützende IKT einsetzt, ist um ein mehrfaches höher, wenn Roboter genutzt werden. Bei den FuE und Produktion unterstützenden IKT wurde deutlich, dass Roboternutzer

insbesondere die beiden Anwendungen für Virtual Reality eher einsetzen. Hingegen ist der Einsatz der beiden Managementsysteme aus diesem Bereich unabhängig vom Einsatz von Robotern zu sehen. Bestehende Unterschiede in der Verbreitung sind in diesem Fall auf Unterschiede in Betriebs- und Produktionseckdaten zurückzuführen – insbesondere ist hier die Betriebsgröße zu nennen – und sind nicht in der Roboternutzung begründet. Offenbar gibt es bei diesen Technologien (noch) keine wirtschaftlichen Lösungen oder Nutzungsmöglichkeiten für kleine Unternehmen bzw. für kleine Unternehmen besteht kein Nutzen (Anhang AI-13).

Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass ein Großteil der Roboternutzer, der Digitalisierungstechnologien verwendet, diese deutlich über eine Pilotanwendung hinaus nutzt. So schöpfen mehr als 70 Prozent der Roboternutzer einen mittleren oder hohen Umfang der maximal sinnvollen Nutzungsmöglichkeiten einer Technologie aus (siehe Anhang AI-14). Dies verdeutlicht, dass Digitalisierungstechnologien eine wichtige Rolle im Unternehmen spielen und intensiv genutzt werden.

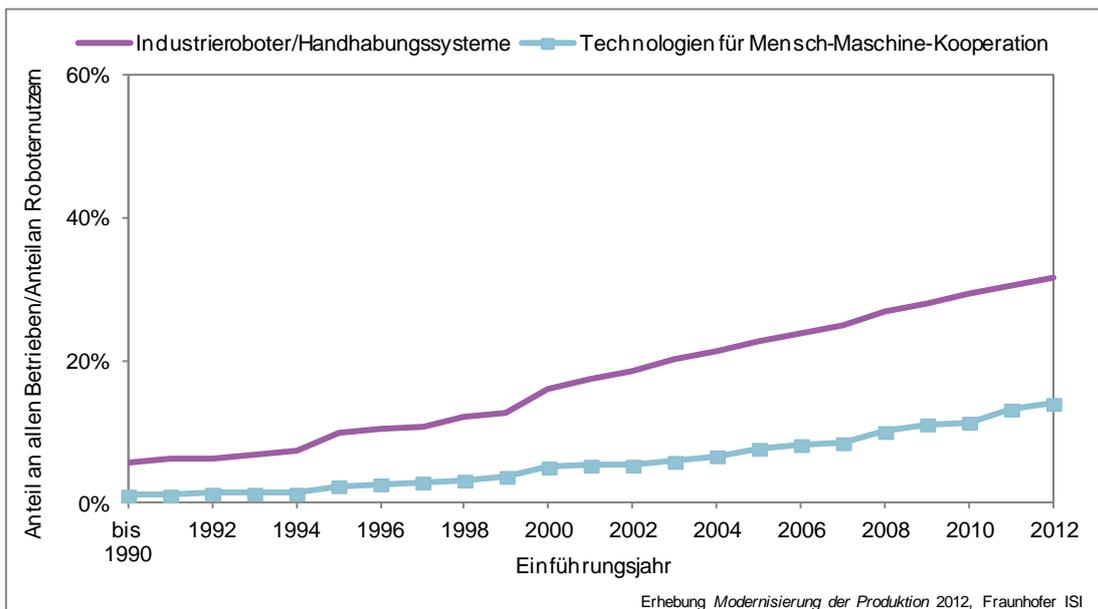
3.6.2 Einführungsdynamik von Digitalisierungstechnologien bei Roboternutzern

Die Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012 ermöglicht darüber hinaus – mit Rückgriff auf die Angaben zum Einführungsjahr – eine Betrachtung der Verbreitung einzelner Digitalisierungstechnologien über die Zeit. Der Vergleich der Diffusionsverläufe für die Nutzer und die Nicht-Nutzer erlaubt dabei, Aussagen zur Komplementarität der Technologien zu treffen. Der Betrachtungszeitraum umfasst die Jahre 1990 bis 2012.

Zu Beginn wird die Verbreitung von **ergänzenden IKT** betrachtet. Dabei steht die Diffusion von Technologien zur Mensch-Maschine-Kooperation im Mittelpunkt, da die sehr geringe Nutzerquote und die damit verbundene geringe Fallzahl eine vertiefende Analyse zur Verbreitungsdynamik multimodaler Programmiermethoden nicht zulässt. In Abbildung 3-19 ist zum einen die Verbreitung der Roboternutzung im Verarbeitenden Gewerbe im Zeitverlauf dargestellt. Zum anderen wird der Anteil von Betrieben, die Technologien für Mensch-Maschine-Kooperation nutzen, dargestellt; und zwar als Anteil an allen Roboternutzern. So nutzen im Jahr 2010 29 Prozent aller Betriebe Roboter; von diesen Roboternutzern setzten 11 Prozent Technologien für die Mensch-Maschine-Kooperation ein. Deutlich wird, dass Technologien für die Mensch-Maschine-Kooperation erst ab dem Jahr 1995 zum Einsatz kommen und sich in den folgenden Jahren unter den Roboternutzern kontinuierlich verbreiten. Vor dem Hintergrund, dass die Technologie der Mensch-Maschine-Kooperation erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen hat, ist der Anteil von 14 Prozent als sehr beachtlich anzusehen.

Die Abbildung verdeutlicht, dass diese Entwicklung parallel zur steigenden Verbreitung an Roboternutzern unter allen Betrieben im Verarbeitenden Gewerbe stattfand. Demnach werden Industrieroboter zunehmend nicht mehr nur als alleinstehende Technologie genutzt, sondern zur Erhöhung der Effizienz oder zur Erweiterung der Funktionalitäten mit unterstützenden Digitalisierungstechnologien ergänzt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Industrieroboter zunehmend im Zusammenspiel mit ergänzender IKT genutzt werden, damit die Vorteile der Anwendung (Qualität, Zeit, Kosten) bestmöglich ausgenutzt sowie eine größtmögliche Flexibilität erzielt werden können (Lin et. al 2012; Botthof et al. 2015).

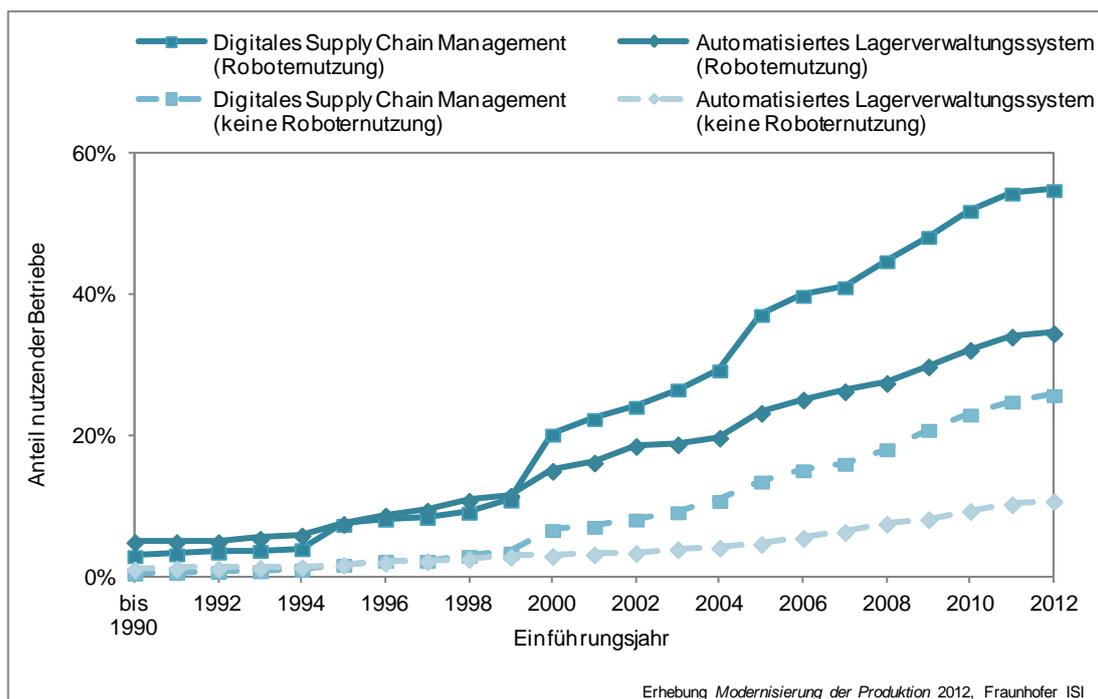
Abbildung 3-19: Einführung von Industrierobotern im Zeitraum 1990 bis 2012 im deutschen Verarbeitenden Gewerbe und Einführung ergänzender IKT als Anteil an Roboternutzern, prozentuale Kumulation



IKT-gestützte Logistiklösungen werden von einem immer größeren Anteil der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes eingesetzt (vgl. Abbildung 3-20). Im Zeitraum von 1990 bis 2012 hat sich der Anteil der Nutzer dieser IKT besonders unter den Betrieben mit Roboternutzung vervielfacht. Die Verbreitung beider Digitalisierungstechnologien unter Roboternutzern begann zudem deutlich früher – etwa Mitte der 1990er-Jahre – und deren Nutzeranteil steigt im Vergleich zu dem der Nicht-Nutzer im Zeitverlauf deutlich stärker an. Daraus kann gefolgert werden, dass Digitalisierungstechnologien Roboternutzern einen größeren Nutzen bringen und/oder dass Roboternutzer die Fähigkeit besitzen, neue Technologien schneller zu adoptieren.

Auffällig ist darüber hinaus, dass beide Technologien bis 1999 eine sehr ähnliche Entwicklung vollzogen haben. Um die Jahrtausendwende beginnt dann eine rasante Verbreitung des digitalen Supply Chain Managements insbesondere unter Roboternutzern, aber auch unter den Nicht-Nutzern. Diese Entwicklung ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass durch die fortschreitende Digitalisierung und Informatisierung der Industrie (Leinweber et al. 2013) und durch die Weiterentwicklung geeigneter Soft- und Hardware wie beispielsweise von SAP (Statista 2015) und RFID-Chips, marktfähige technische Lösungen für digitales Supply Chain Management verfügbar wurden. So gibt es sowohl für digitales Supply Chain Management als auch für automatisierte Lagerverwaltungssysteme Standardlösungen. Es ist zu vermuten, dass der Anpassungsaufwand für nutzerspezifische Lösungen bei beiden Technologien unterschiedlich hoch ist und dass hierin ein Faktor für die unterschiedliche Verbreitung liegt.

Abbildung 3-20: Einführung von Industrierobotern im Zeitraum 1990 bis 2012 im deutschen Verarbeitenden Gewerbe und Einführung IKT-gestützter Logistiklösungen als Anteil an Roboternutzern, prozentuale Kumulation

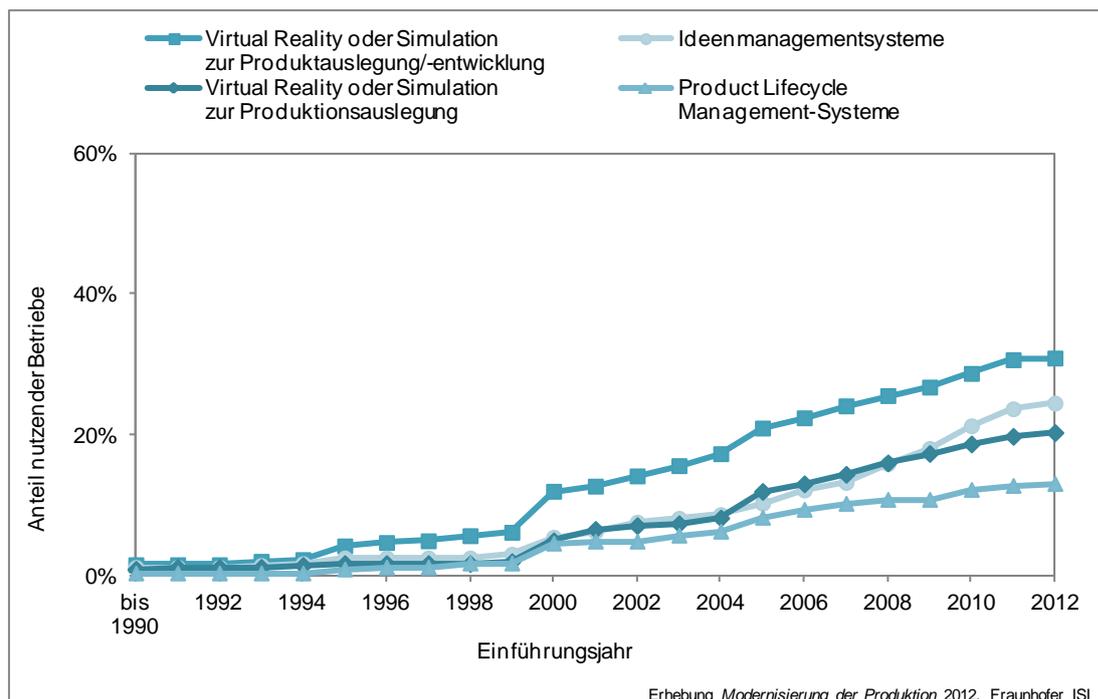


In Abbildung 3-21 ist die Verbreitung von **IKT zur Unterstützung von FuE und Produktion** unter den Betrieben dargestellt, die Industrieroboter oder Handhabungssysteme einsetzen. Alle betrachteten Digitalisierungstechnologien sind sehr jung. Mit Ausnahme der Virtual Reality oder Simulation zur Produktauslegung wurden diese Technologien bis 1999 nicht genutzt, auch nicht unter den Nutzern von Industrierobotern. Die drei

Technologien Product Lifecycle Management, Virtual Reality zur Produktionsauslegung sowie Ideenmanagementsysteme entwickeln sich dann die folgenden fünf Jahre bis 2004 sehr ähnlich. Erst dann setzt eine stärkere Verbreitung der Virtual Reality zur Produktionsauslegung und vor allem von Ideenmanagementsystemen ein.

Die Nutzung von Virtual Reality zur Produktauslegung hingegen setzt bei den Roboternutzern schon Anfang der 1990er-Jahre ein und eine nennenswerte Diffusion ist ab Mitte der 1990er-Jahre festzustellen. Insbesondere in den 2000er-Jahren findet dann eine rasche Verbreitung statt. Auch hier ist für die ab 2000 einsetzende Entwicklung die Verfügbarkeit von marktfähigen Lösungen als Haupttreiber zu sehen. Weiterhin ist davon auszugehen, dass Roboternutzer einen höheren Nutzen aus Digitalisierungstechnologien ziehen können und dass diese eine schnellere Absorptionsfähigkeit für neue Technologien besitzen.

Abbildung 3-21: Einführung von Industrierobotern im Zeitraum 1990 bis 2012 im deutschen Verarbeitenden Gewerbe und Einführung von IKT zur Unterstützung von FuE und Produktion als Anteil an Roboternutzern, prozentuale Kumulation



3.7 Hervorhebung KMU und Roboter – Was ist das besondere?

3.7.1 Bedeutung von KMU für Deutschland

Die deutsche Wirtschaft ist stark durch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) geprägt. 99,3 Prozent der Unternehmen in Deutschland zählen zur Gruppe der KMU, für das Verarbeitende Gewerbe liegt der Anteil bei 97,4 Prozent (Söllner 2014 – Stand 2011). Die Definition von KMU erfolgt häufig über die quantitativen Merkmale Unternehmensgröße und Umsatz oder Bilanzsumme.¹² Zusätzlich werden KMU häufig verschiedene qualitative Merkmale in Abgrenzung zu Großunternehmen zugeordnet, die sich zumeist aus der Größe und Führungsstruktur ableiten lassen. In Anhang AI-15 werden Merkmale von KMU zusammengefasst, die in der Literatur zur Beschreibung von KMU genannt werden.

Im Folgenden werden die Besonderheiten von KMU hinsichtlich des Einsatzes von Automatisierungstechnik dargelegt und anhand der qualitativen Merkmale ein Bezug auf das Roboternutzungsverhalten gesucht.

3.7.2 Roboter und KMU

Der Vergleich verschiedener Betriebsgrößengruppen in Bezug auf den Anteil an Roboternutzern hat gezeigt, dass die Nutzung von Industrierobotern und Handhabungssystemen bei KMU¹³ deutlich niedriger ist als bei Großunternehmen. Die multivariaten Analysen bestätigen diese Tendenz. Auch bei Kontrolle von Branche, Seriengröße und Fertigungstiefe haben größere Betriebe eine höhere Chance auf Robotereinsatz.

Armbruster et al. (2006) zeigen durch einen Zeitverlauf, dass die verschiedenen Größenklassen Ende der 1980er hinsichtlich Roboternutzung noch eng beisammen lagen. Seit Ende der 1980er-Jahre hat sich die Quote an Firmen je Größenklasse mit Roboternutzung in allen Größenklassen stark erhöht. Den größten Zuwachs (von 10 Prozent auf 50 Prozent) wiesen in dem betrachteten Zeitraum jedoch große Betriebe mit mehr als 249 Beschäftigten auf. Durch die stärkere Entwicklung in den Großunternehmen hat sich im Zeitverlauf eine Schere zwischen großen und kleineren Betrieben aufgetan. Dass diese Schere in den letzten zehn Jahren so bestehen blieb, belegen die Auswertungen der Datenbasis 2012.

¹² Entsprechend der KMU-Definition der EU.

¹³ Abgrenzungsmerkmal in den statistischen Analysen ist die Betriebsgröße.

Für die unterschiedliche Entwicklung in KMU und Großbetrieben sind mehrere mögliche Gründe anzuführen. Als Erstes kann die geringere finanzielle Ressourcenausstattung von KMU genannt werden. Die seit 1950 fallenden Roboterpreise¹⁴ haben nicht zu einem Anwachsen bei KMU beigetragen. Die Annahme, wie sie Armbruster et al. (2006) getroffen haben, dass die Preise nach wie vor für KMU zu hoch sind, kann nach den Auswertungen aktueller Daten weiterhin aufrechterhalten bleiben.

Stark verbunden mit der Preissensibilität von Betrieben, sind auch die Produktionsstrukturen, die zu einer einfacheren Verteilung des Investitionsaufwands führen. Große Betriebe können größenbedingt eine höhere Gesamtanzahl an Gütern produzieren. Das Fertigen großer Stückzahlen ermöglicht es, die Investitionsaufwendungen für einen Roboter auf viele Stücke zu verteilen und die Auswirkungen auf den Verkaufspreis sehr gering zu halten. Zudem fällt bei der Produktion in Großserien der Aufwand für die Programmierung des Roboters weniger häufig an, als bei kleineren und mittleren Seriengrößen (Friedrich 2010). Die Stärke von KMU wird hingegen häufig der Fertigung kleinerer kundenindividueller Losgrößen zugeschrieben. Große Unternehmen weisen zudem durch die Größe mehr Einsatzmöglichkeiten für Roboter auf als kleine Betriebe (Armbruster et al. 2006). Die aktuellen Auswertungen bestätigen, dass Roboternutzer nicht nur häufiger große Betriebe sind, sondern auch häufiger Fertiger großer Serien.

Das Fertigen kleinerer Serien bzw. das Fertigen einer hohen Variantenvielfalt erfordert häufigeres Umrüsten von Bearbeitungsmaschinen. Nimmt man die höhere Variantenvielfalt als charakteristisch für KMU an, ergeben sich daraus andere technische Anforderungen an Roboter als in der Großserienfertigung. Friedrich (2010)¹⁵ führt in seiner Arbeit verschiedene Argumente für die Besonderheiten von KMU aus der Literatur zusammen. Ein zentraler Ansatzpunkt ist dabei, dass für eine Steigerung der Anwendung in KMU eine Einrichtung und Bedienung direkt durch den Werker möglich sein sollte (Fraunhofer IPA 2006). Im Folgenden werden die Argumente von Friedrich (2010) gelistet:

- Einfaches Umprogrammieren: Oftmals verfügen KMU über keine fachbezogenen Roboterspezialisten. Um den Systemwechsel zu erleichtern und den Schulungsaufwand gering zu halten, ist eine Programmierung unabhängig von der Programmiersprache sinnvoll.

14 Die Aussage von Armbruster et al. (2006) kann nur bis zum Veröffentlichungsjahr bezogen werden.

15 Friedrich verweist in seiner Zusammenfassung auf die Autoren Möbius (1996), Heß (2009), Gottschald (2001), Brecher et al. (2004), Bussiek (1996), Matthias et al (2004) und Weck und Dammertz (1994).

- Einfaches und schnelles Umrüsten: Durch den häufigeren Wechsel der zu fertigenden Produkte und durch hohe Variantenvielfalt, sind diese Prozesse an Komplexität und Zeit zu minimieren.
- Mobil in der Produktionshalle zu verschieben: Die hohe Variantenvielfalt erfordert häufig einen Umbau in der Produktionsumgebung und somit einen Bedarf an versetzbaren Robotern.
- Hohe Benutzerfreundlichkeit und einfache Schulung für Bediener: Ein fundiertes Roboterfachwissen beim Bediener kann nicht vorausgesetzt werden, daher sollte die Handhabung möglichst einfach gestaltet sein und keinen Schulungsaufwand erfordern, der in KMU meist nicht geleistet werden kann.
- Einheitliche Schnittstellen: Da sich das Portfolio an Produktionsgütern oftmals sehr heterogen an Herstellern zusammensetzt, sollten einheitliche Schnittstellen vorliegen, um Roboter verschiedener Hersteller zu nutzen.

Aus dem Dargelegten wird ersichtlich, dass Gründe für den geringen Einsatz von Robotern in KMU sowohl im wirtschaftlichen als auch im technischen Bereich liegen. In der Erhebungsrunde 2003 der Erhebung *Modernisierung der Produktion* wurde differenzierter nach Gründen für die Nicht-Nutzung gefragt: 10 Prozent aller Betriebe nannten, dass fehlende technische und wirtschaftliche Lösungen dem Einsatz entgegenstehen. Hochgerechnet auf das Verarbeitende Gewerbe entspricht dieser Prozentsatz etwa 2.900 Betrieben, die potenzielle Anwender von einem oder mehreren Robotern gewesen wären.

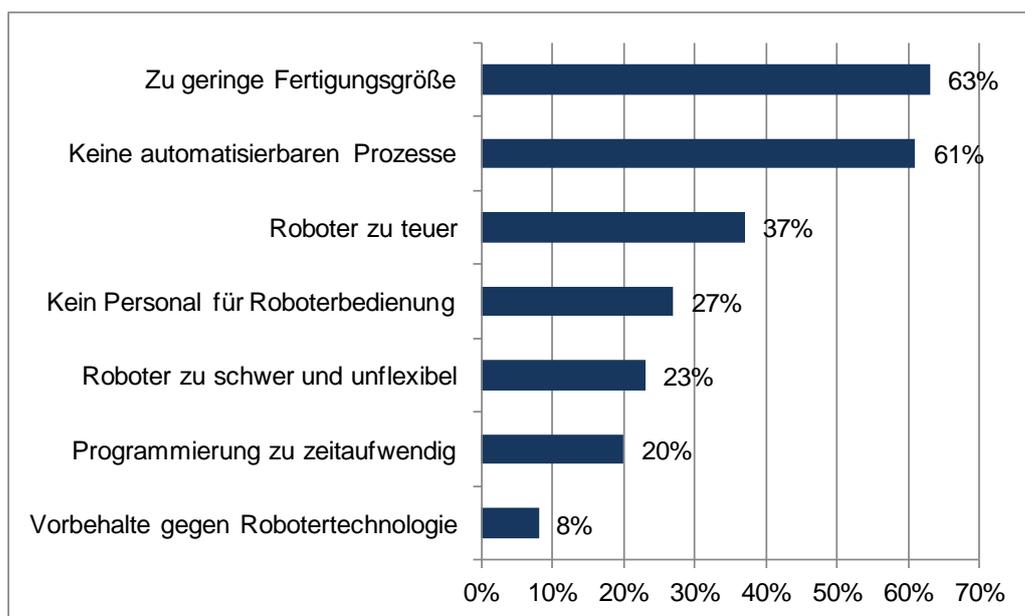
Dabei ist festzuhalten, dass auch für größere Betriebe, wenn auch weniger häufig, ein Bedarf an wirtschaftlichen und technischen Lösungen besteht (Armbruster et al. 2006). Allerdings zeigt sich ein Unterschied hinsichtlich der Produktionsmerkmale bzw. der an der Produktionsstruktur ausgerichteten Bedarfe an technischen Produktionsanlagen. Im Jahr 2003 lag der Anteil an Betrieben, die keine passfähige technische oder wirtschaftliche Lösung gesehen haben, sowie bei Betrieben mit Einzel-, Klein- und Mittelserienfertigung (11, 10 und 13 Prozent) deutlich höher als bei Betrieben mit Großserienfertigung (5 Prozent) (Armbruster et al. 2006). Befragt man Hersteller nach Ursachen für die Zurückhaltung von KMU, sehen sie einen Grund in einer nicht mehr zeitgerechten Vorstellung in Bezug auf Roboter von KMU (Frutig 2013).

Aus dem Umstand, dass Großserienfertiger wie der Fahrzeugbau Hauptabnehmer von Industrierobotern und Handhabungssystemen sind, leiten Armbruster et al. (2006) ab, dass die am Markt angebotenen Produkte in ihrer technischen Auslegung stark auf eben diese Abnehmergruppe zugeschnitten sind. Da sich die Verbreitungsspanne zwischen Großserienfertigern und Klein- und Mittelserienfertigern, die als charakteristisch für KMU angenommen wird, nicht verringert hat, scheint immer noch ein Mangel an KMU spezifischen Produkten am Markt zu bestehen.

Abseits fehlender wirtschaftlicher und technischer Lösungen, gibt bereits die Untersuchung von Armbruster et al. (2006) Hinweise darauf, dass ein Hauptgrund für die Nicht-Nutzung darin liegt, dass keine betrieblichen Anwendungsmöglichkeiten für den Einsatz von Industrierobotern und Handhabungssystemen gesehen werden.

In einer Betriebsumfrage auf europäischer Ebene wurde hierzu weiterführend untersucht, aus welchen Gründen KMU im Verarbeitenden Gewerbe keinen Roboter einsetzen. Die Untersuchung ergab, dass die Höhe der Fertigungsgröße und Art der Produktionsprozesse hauptsächlich für den Einsatz von Automatisierungstechnik sind. So gaben zusammengenommen 80 Prozent der befragten Firmen entweder „zu geringe Fertigungsgröße“ oder „keine automatisierbaren Prozesse vorhanden“ an. Die „hohen Kosten einer Roboteranschaffung“ landete mit deutlichem Abstand auf dem dritten Platz in der Anzahl der Nennungen für Nicht-Nutzungs-Gründe. Die Antworten „zu teuer“ und „zu geringe Fertigungsgröße“ können darin unterschieden werden, dass sich mit der Aussage „zu teuer“ auf Schwierigkeiten im Zugriff auf externe finanzielle Ressourcen bezogen wird, mit „zu geringe Fertigungsgröße“ auf die schwierigere wirtschaftliche Auslastung in einer gewissen Zeitspanne. Abschließend ist anzumerken, dass die Aussage, dass keine automatisierbaren Prozesse vorhanden sind, auch vom Wissensstand über aktuell verfügbare Lösungen abhängt sowie von der Offenheit gegenüber neuartiger Technik in gewisser Weise beeinflusst wird. Abbildung 3-22 zeigt die Verteilung der Antworten der Untersuchung bei KMU im Rahmen des Projekts SMErobot graphisch auf.

Abbildung 3-22: Gründe für die Nicht-Nutzung von Robotern in KMU



Quelle: Kinkel und Weißfloch 2009, S. 379

Daten: SMErobot Erhebung 2008, n=301, Fraunhofer ISI

3.7.3 Aktuelle technische Entwicklungen und Ausblick

Neben den besonderen Herausforderungen für KMU sollten die technischen Weiterentwicklungen, die sich im Bereich der Automatisierungstechnik in den letzten Jahren vollzogen haben, nicht vergessen werden:

- Haben Analysen für 2003 noch gezeigt, dass Betriebe, die einfache Produkte fertigen, deutlich häufiger Roboter nutzen als Betriebe, die komplexe Produkte fertigen, konnte in der aktuellen Analyse kein Unterschied zwischen den verschiedenen Komplexitätsgraden des Endprodukts und der Roboternutzung festgestellt werden. Eine Erklärung hierfür kann in der Weiterentwicklung der Robotertechnik gesehen werden. Roboter der jetzigen Generation können bereits aufwendigere Bearbeitungsschritte ausführen.
- Aktuelle Entwicklungen am Markt greifen bereits einige der geschilderten Bedarfe von KMU auf. Zu nennen ist hierbei, dass neue Lösungen platzsparend sind, einfach zu bedienen (über Smartphone und Tablets), sicher und ohne Schutzkäfig im Raum betreibbar und durch Leichtbauprinzipien leichter und so flexibler einzusetzen sind (Frutig 2013).
- Auch ist anzuführen, dass in den letzten Jahren einige Forschungsprojekte auf den Weg gebracht wurden, die sich speziell den genannten technischen Bedarfen von KMU widmen, so z. B. eine vereinfachte Programmierung (z. B. über manuelle Führung) (EU Robotics Forum 2015) und Roboter, die kleiner und handhabbarer (Fraunhofer IPA 2009) sind. Daher ist ein Grundstein gelegt, dass sich in naher Zukunft, nach Pilotproduktion der technischen Neuentwicklungen in Forschungsprojekten, diese in den Markt und in die Breite diffundieren.
- Themen wie Standardisierbarkeit und Sicherheit, die insbesondere im Themenfeld Industrie 4.0 diskutiert werden, treffen auch für den Einsatz von Industrierobotern zu. Die Verkettung und digitale Vernetzung von Produktionsanlagen erfordert einheitliche Schnittstellen in der Soft- und Hardware. Ein weiteres Thema ist die Sicherheit (Arbeitssicherheit). Durch die Digitalisierung von Produktionsobjekten und die Erschließung von Potenzialen durch Fernsteuerung, öffnet sich auch die Möglichkeit, dass sich Unbefugte externen Zugriffen auf Anlagen und Steuerungen aneignen. Standardisierung und Sicherheit („safety and security“) sind Themenbereiche, die im Rahmen von Industrie 4.0 in verschiedenen Arbeitskreisen anlagen- bzw. technikübergreifend angegangen werden.

Die Nöte von KMU sind zudem im Visier der Wissenschaft. So besteht Grund zur Annahme, dass nach erfolgreicher Pilotentwicklung Roboter entsprechend der Anforderungen bisher unerschlossener Kundengruppen in den kommenden Jahren in die Breite diffundieren. Die Entwicklungen in der industriell einsetzbaren Robotertechnik gehen weiter voran, Roboter werden kleiner und mobiler, billiger, benötigen keinen Sicherheitszaun mehr und lassen sich durch haptisches Zeigen „programmieren“. Zusätzlich durchdringt mit den „Digital Natives“ eine Generation das Arbeitsleben, die mit dem

rasanten technischen Fortschritt als gegeben aufgewachsen ist und digitalen Technologien weniger Skepsis entgegengesetzt.

3.8 Fazit

Industrieroboter bzw. Handhabungssysteme werden schon von einem relevanten Teil (32 Prozent) der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe genutzt. Dabei ist für diese Technologie trotz der bereits hohen Nutzerquote und einer kontinuierlichen Diffusionsrate in Deutschland im Zeitraum 2009 bis 2012 weiterhin eine **dynamische Entwicklung auch in jüngster Zeit** zu konstatieren. Allerdings wäre es einseitig, von einer branchenübergreifenden etablierten Technologie mit festen Verbreitungsstrukturen zu sprechen. Die Analysen zu Anwenderbetrieben von Industrierobotern und Handhabungssystemen sowie deren Investitionsverhalten führen zu folgenden Erkenntnissen:

- **Die Betriebsgröße zählt:** Der Einsatz von Industrierobotern und Handhabungssystemen in der Produktion ist deutlich häufiger unter großen Betrieben anzutreffen. Kleine Unternehmen setzten drei bis viermal seltener Roboter bzw. Handhabungssysteme ein als große Betriebe.
- **Andere Bedarfe von KMU:** Wirtschaftliche und technische Lösungen, die besondere Bedarfe von KMU adressieren, sind noch nicht in der Breite verfügbar.
- **Kleine Betriebe holen nicht auf:** Kleine Betriebe setzten weiterhin deutlich seltener Roboter/Handhabungssysteme in ihrer Produktion ein und eine Trendwende ist nicht in Sicht. Im Vergleich der Größenklassen fällt auch der Anteil der Betriebe mit Erst-einführung zwischen 2009 und 2012 geringer aus. Der Anteil an KMU, die bis zum Jahr 2015 eine Neuanschaffung geplant haben, übersteigt zudem nicht wesentlich die Planungsrate bei größeren Betrieben.
- **Bestimmte Branchen setzten aktuell häufiger Roboter ein als andere:** Zu den roboteraffinen Branchen zählen der Fahrzeugbau, Hersteller von Gummi/Kunststoff und die Metallverarbeitung.
- **Chemiebranche war auf Aufholkurs:** Von allen Betrieben der Chemiebranche (Hersteller chemischer und pharmazeutischer Erzeugnisse), die Roboter nutzen, hat mehr als ein Drittel der Betriebe diese/n in den letzten drei Jahren (seit 2009) eingeführt. Dies deutet auf einen technischen Durchbruch und unterstreicht die Bedeutung der in verschiedenen Branchen sehr unterschiedlichen technischen bzw. wirtschaftlichen Hürden.
- **Auch die Seriengröße zählt:** Großserienfertiger setzten häufiger Roboter ein. Die wirtschaftliche Auslastung des Roboters und somit die Refinanzierung ist durch das Fertigen hoher Stückzahlen einfacher zu erreichen. Eine höhere Variantenvielfalt führt zu höheren Aufwendungen für den Robotereinsatz durch Umrüstvorgänge und neue Programmierung.

- **Komplexität kein Hindernis mehr:** Die Komplexität des Hauptprodukts gibt keinen Hinweis auf den Einsatz von Robotern mehr. 2003 lag der Nutzeranteil von Betrieben, die komplexe Produkte fertigen, noch deutlich unter Betrieben mit weniger komplexen Produkten. Heute sind die Nutzerquoten gleich. Diese Entwicklung weist auf die durchschrittene technische Weiterentwicklung hin. Industrieroboter sind heutzutage in der Lage, auch komplexere Tätigkeiten zu handhaben.
- **Forschungsintensität nicht entscheidend:** Ob ein Betrieb viel oder wenig in die eigene Forschung investiert, ist kein Hinweis auf den Einsatz von Industrierobotern bzw. Handhabungssystemen. Betriebe, die Industrieroboter bzw. Handhabungssysteme einsetzen, unterscheiden sich hierin nicht von Betrieben, die keine dieser Techniken einsetzen.
- **Roboternutzung heißt Folgeinvestition:** Mehr als zwei von drei Roboternutzern tätigt innerhalb von drei Jahren eine Folgeinvestition in verbesserte Technik. Ob dies systemisch in der Technologie begründet ist oder ob in dem betrachteten Zeitraum ein Techniksprung stattfand, der für mehr als nur die Chemiebranche von großer Bedeutung war, kann mit einer Punktmessung nicht geklärt werden.
- **Roboternutzer und Prozessinnovation:** Roboternutzer setzen bei der Priorisierung ihrer Innovationsfelder häufiger als Nicht-Nutzer auf technische Prozessinnovation und seltener auf Produktinnovation. Dabei gilt es allerdings nicht zu vergessen, dass dennoch bei beiden Gruppen gleichermaßen die Mehrheit die Entwicklung neuer Produkte prioritär bewertet.

Die Untersuchung der Leistungskennzahlen von Robotik-Nutzern sowie der Verbreitung von innovativen Organisationsstrukturen unter Robotik-Nutzern zeigen den **Nutzen des Einsatzes von Robotern** bzw. Handhabungssystemen in Industriebetrieben auf:

- **Betriebe, die Roboter einsetzen, weisen eine höhere Wertschöpfung pro Kopf bzw. Arbeitsproduktivität auf als Nicht-Nutzer.** Dabei ist zu beachten, dass Arbeitsproduktivität zudem wesentlich beeinflusst ist von Fertigungstiefe, d. h. ein hoher Anteil der Produktionsstufen sowie der Exportorientierung des Betriebs gefolgt von Qualifikationsniveau, Betriebsgröße, Branche und Seriengröße.
- **Die Gesamtfaktorproduktivität (TFP) eines Betriebes zeigt sich nicht davon beeinflusst, ob Roboter in der Produktion überhaupt oder intensiv eingesetzt werden.** Zwischen der Gruppe der Nutzer und der Nicht-Nutzer zeigt sich kein deutlicher Unterschied in der durchschnittlichen TFP, wenn weitere betriebs- und produktionsstrukturelle Faktoren beachtet werden.
- **Die Gruppe der Roboternutzer weist eine durchschnittlich höhere Termintreue auf.** Der Einsatz von Robotern scheint damit ein adäquates Mittel zu sein, die Flexibilitätszielgröße Liefertreue zu erhöhen. Allerdings zeigt sich hier ein „Einmaleffekt“ durch den Einsatz von Robotern; ein „je mehr desto“ gilt nicht in dem Sinne, dass Betriebe mit umfassenderer Nutzung von Robotern termintreuer sind.

- **Betriebe, die Roboter oder Handhabungssysteme in der Produktion einsetzen, zeigen eine etwas geringere Ausschussquote als Betriebe ohne solche Technik.** Allerdings ist der Zusammenhang zwischen Qualitätsmaß und Robotereinsatz tiefergehend zu untersuchen. So ist zu klären, ob mit einem Robotereinsatz aus technischen Gründen eine höhere Qualität erreicht wird oder ob Roboter eine Veränderung der Organisation der Produktion erfordern, die eine Standardisierung der Handlungsabläufe und Fehlervermeidung verursachen.
- **Die Entwicklung der Beschäftigung hängt nicht mit dem Einsatz von Robotern in der Produktion zusammen.** Es macht für die Beschäftigungsentwicklung keinen Unterschied, ob ein Betrieb Roboter einsetzt oder nicht.
- **Deutlich mehr Roboternutzer haben neue Organisationsprinzipien in ihrem Betrieb eingeführt als Nicht-Nutzer.** Insbesondere zeigen sich Roboternutzer stark vertreten bei Einsatz von Organisationsprinzipien, die einen reibungslosen und optimierten Prozessablauf fördern.

Die Untersuchungen zum **Einsatz von IKT im Produktionsumfeld** und unter Betrieben mit Industrierobotern und Handhabungssystemen führen zu folgenden Ergebnissen:

- **Roboternutzer sind technologieaffin:** Nutzer von Robotern setzen die verschiedenen Digitalisierungstechnologien deutlich häufiger ein als Nicht-Nutzer und sind tendenziell früher bei der Adaption dieser Technologien.
- **Roboterspezifische Technologien:** Technologien für Mensch-Maschine-Kooperation und multimodale Programmiermethoden in der Automatisierung werden nur von Roboternutzern eingesetzt.
- **Roboternutzer adoptieren spezifische IKT früher:** Unter Nutzern von Robotern startete die Verbreitung von Logistik unterstützender IKT sowie von Virtual Reality zur Produktauslegung früher. Für andere IKT war dieser zeitliche Vorsprung nicht festzustellen.
- **Roboternutzer adoptieren eher IKT:** Ein größerer Anteil der Nutzer von Robotern setzen die betrachteten IKT ein. Auch bei Kontrolle anderer Adoptionsfaktoren führen Betriebe mit Roboternutzung produktionsnahe IKT eher ein.
- **Digitalisierungspotenzial von Robotik ist noch groß:** Roboterspezifische Digitalisierungstechnologien werden noch lange nicht von allen Roboter nutzenden Betrieben eingesetzt. Eine sprunghafte Zunahme war für die letzten fünf Jahre nicht festzustellen.

Im Lichte der Analysen lassen sich **zwei Handlungsempfehlungen** für die Unterstützung von Betrieben im Verarbeitenden Gewerbe ableiten, um erstmalig Robotik in der Produktion einsetzen und damit die Vorteile von Robotertechnologie und Automatisierung in Anspruch nehmen zu können:

- Ein Ansatzpunkt, um Unternehmen den Zugriff auf Robotertechnologie zu erleichtern, die diese aus wirtschaftlichen Gründen bislang nicht in der Produktion einsetzen, ist das Angebot so genannter dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle. In dieser Art von **Geschäftsmodellen** wird nicht mehr das Eigentum am Produkt, hier dem Industrieroboter, verkauft, sondern die Nutzungsmöglichkeit eines Roboters (sog. Pay-per-Use-Modelle oder Mietmodelle). Allerdings erfordert das Angebot dieser neuen Geschäftsmodelle auch technologische Anpassungen auf der Herstellerseite. Nutzungs- und Mietmodelle erfordern Industrieroboter, die einfach zu transportieren und einfach zu programmieren sind. Bisherige technische Lösungen scheinen auf die Hauptabnehmer (Fahrzeugbau, Großserienfertiger) angepasst zu sein. Technische Lösungen für Klein- und Mittelserien, die mobil, schnell umzurüsten und einfach umzuprogrammieren sind, sind noch nicht in ausreichendem Maße vorhanden.
- Um Betrieben die Entscheidung über die Anschaffung von Robotern zu erleichtern, wäre es empfehlenswert, dass Anbieter Erfahrungswerte hinsichtlich LCC (Life Cycle Costing) und TCO (Total Cost of Ownership)¹⁶ im Angebot kommunizieren bzw. dass die Kunden diese Berechnungen und Schätzungen einfordern. Analog zu „Energieeffizienznetzwerken“ könnten **Austauschplattformen** unterstützt werden, um die Kommunikation unter Roboternutzern zu erleichtern und Erfahrungswerte für alle zugänglich zu machen. Besonders für KMU würde das die Stellung gegenüber den Anbietern am Markt verbessern. KMU, die Roboter erfolgreich einsetzen, könnten von ihren Erfahrungen berichten. Darüber hinaus könnten die Roboterhersteller eingebunden werden, um mehr über die Anforderungen von KMU zu erfahren. Roboteranbieter würden damit Zugang zu neuen Kundengruppen und Erfahrungen über die realen Anwendungen erhalten.

Um **KMU** den Zugriff auf Robotertechnologie in besonderer Weise zu erleichtern, kann ebenfalls an zwei Dimensionen angesetzt werden: der **wirtschaftlichen Dimension** und der **technischen Dimension**.

- Insbesondere für KMU können neue **Geschäftsmodelle**, die nicht das Eigentum, sondern die Nutzung des Roboters verkaufen, eine Möglichkeit darstellen, Roboter in der Produktion einzusetzen, ohne große Investitionen tätigen zu müssen. Allerdings mag die notwendige rechtliche Beratung von KMU als Kunde dieser neuen Modelle die finanziellen und zeitlichen Möglichkeiten von KMU überfordern. Vertragsvorlagen bzw. Handbücher zur Gestaltung von nutzungsabhängigen Verträgen durch Branchenverbände wären hier ein Ansatzpunkt, um die Aufwände seitens der KMU abzumildern.
- Ein weiterer Punkt ist der Bedarf an umfassenderer **Beratung und an Lösungsangeboten**. Gerade Betriebe, die nicht über Fachspezialisten verfügen, benötigen Unterstützung bei der Planung und Erstinbetriebnahme sowie einen zuverlässigen Part-

¹⁶ TCO und LCC sind Konzepte, die neben dem Anschaffungspreis weitere Kosten, die während der Lebensdauer des Produkts anfallen, mit betrachten, wie z. B. Betriebskosten, Wartungskosten und Entsorgung. Im produzierenden Gewerbe werden TCO und LCC häufig gleichgesetzt.

ner für Wartung und Reparatur (Frutig 2013). Um das Nutzerpotenzial von KMU auszuschöpfen, wären KMU-spezifische Angebote mit erweitertem Beratungsangebot bzw. als Komplettlösung (z. B. schlüsselfertiger Anlagen seitens der Hersteller) ein möglicher Ansatzpunkt.

- Schließlich ist es immer noch hilfreich, **KMU-spezifische Lösungen** weiter zu fördern. Potenziell neue Nutzer sind mehrheitlich bei KMU zu finden.

In einer generellen Perspektive ist festzustellen, dass sich die Robotik als wichtige Variante der Automatisierung auch rund 40 Jahre nach ihren Anfängen immer noch sehr dynamisch entwickelt. Die Patent- und Publikationsaktivitäten steigen an und erfassen einen größeren Kreis von Ländern, die Zahl der Unternehmen, die Robotik nutzen, nimmt zu, neue Branchen steigen in die Robotik ein. Es zeigen sich klare Unterschiede zwischen großen Unternehmen und KMU: Große Unternehmen nutzen Roboter deutlich häufiger als KMU. Dieses ist nicht einfach als Rückständigkeit zu werten, sondern es liegen relevante technische und wirtschaftliche Gründe für KMU vor, die Robotik weniger intensiv zu nutzen. Es gibt aktuell allerdings gute Ansätze, Roboter besser an die Bedürfnisse von KMU anzupassen.

4 Servicerobotik

4.1 Einleitung

Der Dienstleistungssektor weist weltweit seit Jahren im Vergleich zu den anderen Wirtschaftssektoren ein überproportionales Wachstum auf. So stieg beispielsweise in der Bundesrepublik Deutschland der Anteil der Beschäftigten im Dienstleistungssektor zur Gesamtzahl der Erwerbstätigen zwischen 1970 und 2012 von 43,6 Prozent auf 69 Prozent (BMWi 2009).

Nicht nur das steigende Pro-Kopf-Einkommen und das Streben nach mehr Lebensqualität führen zu erhöhter Nachfrage nach Dienstleistungen – in steigendem Maße werden diese zum integralen Bestandteil aller wirtschaftlichen Aktivitäten und stehen zu anderen Wirtschaftsbereichen in komplementärer Beziehung (Dörn et al. 2008). Der Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit vor allem erwerbswirtschaftlich orientierter Dienstleistungsanbieter zielt weiterhin auf die Erhöhung der Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit ihrer Leistungen. Während bisher überwiegend moderne Informations- und Kommunikationstechniken zur Ausschöpfung dieser Potenziale eingesetzt wurden, wächst der Bedarf an innovativen Systemen zur Rationalisierung physisch geprägter Dienstleistungsaufgaben (Lehmann 1993).

Untersuchungen weisen nach, dass eine teil- oder vollautomatisierte Ausführung von Dienstleistungsaufgaben neben der Wirtschaftlichkeitssteigerung Potenziale bei der menschengerechten Gestaltung von Arbeitsbedingungen, bei der Qualitätssicherung und beim Ausgleich eines Arbeitskräftemangels erschließen hilft (Hipp 2008). Mit dem Aufkommen der Serviceroboter seit Anfang der 1990er-Jahre eröffnet sich eine zukunftsweisende Option zur Teil- oder Vollautomatisierung von Dienstleistungen, die überwiegend physische Tätigkeiten oder Bewegungen umfassen. Diese Potenziale, insbesondere aus Sicht des sich abzeichnenden Marktes von Servicerobotern, wurden erstmals 1994 in einer umfassenden Potenzialstudie prognostiziert (Hägele 1994).

Inzwischen reinigen erste Roboter Gebäude, Verkehrswege und Verkehrsmittel. In Industrieanlagen und Museen sorgen Überwachungsroboter für Sicherheit. Teilautomatisierte Systeme unterstützen Chirurgen bei Eingriffen und das Pflegepersonal bei der Patientenbetreuung. Fahrerlose Transportsysteme übernehmen in Kliniken bereits den Transport von Speisen, Medikamenten und in Verwaltungsgebäuden Botengänge. Immer mehr Roboter bewältigen gefährliche Wartungs- und Inspektionsarbeiten im industriellen Bereich, im Kommunalwesen und in der Energiewirtschaft (Martin 2011).

Je nach Grad der kinematischen Beweglichkeit werden diese Systeme in Serviceroboterfahrzeuge, manipulierende Serviceroboter oder im allgemeinsten Fall in mobile mani-

pulierende Serviceroboter unterschieden, wobei deren Komplexität und damit auch Entwicklungs-, Komponenten- und Fertigungskosten von ihrer kinematischen Beweglichkeit (Anzahl der Freiheitsgrade) und sensorischen Ausrüstung (nach Art und Anzahl) abhängen (Hägele 2006).

Aktuell sind über 250 Produktideen, Prototypen und auch Produkte der Servicerobotik für gewerbliche Anwendungen dokumentiert (Martin 2011). So breit das Spektrum an Dienstleistungen mit überwiegendem Anteil an repetitiven und physischen Bewegungen (Transport, Handhabung und Führung von Werkzeugen und Arbeitsobjekten) ist, so vielfältig ist die Nutzung von Servicerobotern. Fast 80.000 derzeit weltweit eingesetzte Serviceroboter-Systeme (SRS) in gewerblichen Anwendungen belegen die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Automatisierung eines weiten Spektrums an Dienstleistungstätigkeiten, wobei mobile Plattformen oder Serviceroboter-Fahrzeuge inzwischen einen anerkannt hohen technischen Reifegrad erreicht haben. Dennoch ist die Durchdringung des Dienstleistungswesens mit Servicerobotern sowohl hinsichtlich Einsatzbreite als auch Einsatzzahlen schleppend: Erst für das Jahr 2020 wird ein weltweites Marktvolumen prognostiziert, das dem der heutigen Industrieroboter von ca. 10 Milliarden US-Dollar weltweit entspricht (in 2014 ohne Militärrobotik) (Martin 2011). In der Summe blieb bislang das Wachstumspotenzial der Servicerobotik weit hinter den Prognosen zurück. Folgende Diffusionshemmnisse stellen insbesondere für manipulierende Serviceroboter die wesentlichen Faktoren der bislang nur langsamen Verbreitung dar (Hägele et al. 2011):

- **Technische Anforderungen.** Zahlreiche, in Servicerobotern einsetzbare Komponenten leiten sich aus der Industrieroboter-Technik ab. Dennoch ergeben sich in wesentlichen funktionalen Anforderungen bzw. zu erreichenden Leistungsdaten deutliche Erweiterungen, insbesondere in Bezug auf Sensorik (Wahrnehmung) und kinematische Beweglichkeit, die nicht immer von derzeit marktgängigen Produkten zu den geforderten Kosten abgedeckt werden.
- **Hohe Entwicklungs- und Systemkosten.** Günstige Marktpotenziale erwachsen aus der großen Bandbreite möglicher Einsatzfälle, doch sind Serviceroboter auf die jeweilige Dienstleistungsaufgabe abgestimmte Spezialisten. Sie werden, anders als im Bereich konventioneller Industrieroboter, individuell an Art, Umfeld und Ablauf einer Aufgabe angepasst. Meist ergeben sich nur geringe Möglichkeiten zur Präparierung oder automatisierungsgerechten Modifizierung von Einsatzumgebungen, sodass der Einsatz von Sensoren zur Identifikation und Lokalisierung von Objekten, Personen und Hindernissen als zusätzlicher Kosten- und Entwicklungsfaktor zu Buche schlägt. Standardisierte Systemarchitekturen eröffnen Zulieferern von Schlüsselkomponenten neue Märkte. Hierdurch erschließen sich Perspektiven von kostenmindernden „Economies of Scale“, Skaleneffekte für die Servicerobotik.

- **Flexibilität.** Anwendungen der Servicerobotik fehlt es an Voraussetzungen – wie etwa eines Baukastenprinzips für flexible Konfigurationsmöglichkeiten und die Fähigkeit, Technologieträger oder -Plattformen für mehrere Aufgaben umzubauen und einzusetzen. Der besonders in kleinen Organisationen relevante Kostenvorteil eines Roboters, dauerhaft in Betrieb zu sein, lässt sich mangels Flexibilität oft nicht nutzen.
- **Sicherheit.** In zahlreichen Fällen wird die Aufgabenausführung durch einen Serviceroboter in öffentlichen Bereichen erfolgen. Der in vielen Fällen nicht vermeidbare und für manche Anwendungen notwendige Kontakt mit Personen stellt dabei erhöhte Anforderungen an die Sicherheitstechnik und begrenzt die Gestaltungsspielräume bei der Planung und Entwicklung.
- **Akzeptanz.** Letztlich entscheidet der Anwender über den Nutzen eines Serviceroboters als Relation von Nutzwert und Kosten. Für neue Märkte sind Produkte bzw. Serviceroboter-Anwendungen zu finden und umzusetzen, die im Alltag durch ihren Gebrauchsnutzen überzeugen und Wirtschaftlichkeitsforderungen gerecht werden.

4.2 Definitionen

Die Begriffe zur Robotik sind seit 2012 in der ISO-Norm 8373 festgelegt.

Ein Serviceroboter ist gemäß der aktuellen Definition der IFR ein Roboter, der teil- oder vollautonom Dienstleistungen zum Nutzen menschlichen Wohlbefindens und für Einrichtungen oder für Aufgaben außerhalb der industriellen Produktion ausführt. Serviceroboter werden unterschieden nach solchen für gewerbliche Anwendungen (üblicherweise bedient durch eine eingewiesene Person) und solchen für persönliche und domestische Anwendungen (bedient durch Laien, nicht eingewiesene Personen).

Wichtig ist, dass der Roboter nach dem technischen Merkmal seiner minimalen Anzahl (3) frei programmierbarer Bewegungsachsen oder Freiheitsgrade festgelegt ist. Demnach sind folgende Maschinen keine Serviceroboter:

- Waschmaschine: Selbst wenn die Trommel frei programmierbar wäre, wäre die Anzahl der Freiheitsgrade nicht ausreichend.
- Eine automatische Schienenbahn: Auch diese weist nicht die notwendige Anzahl von drei unabhängigen Freiheitsgraden auf.

Ein Randfall ist das autonome Auto: Ein omni-direktionales Fahrzeug könnte drei Freiheitsgrade aufweisen (Fahrbewegung in jede Flächenrichtung einschließlich Orientierung). Jedoch wird es für diese Produktgruppe eine eigene Definition geben.

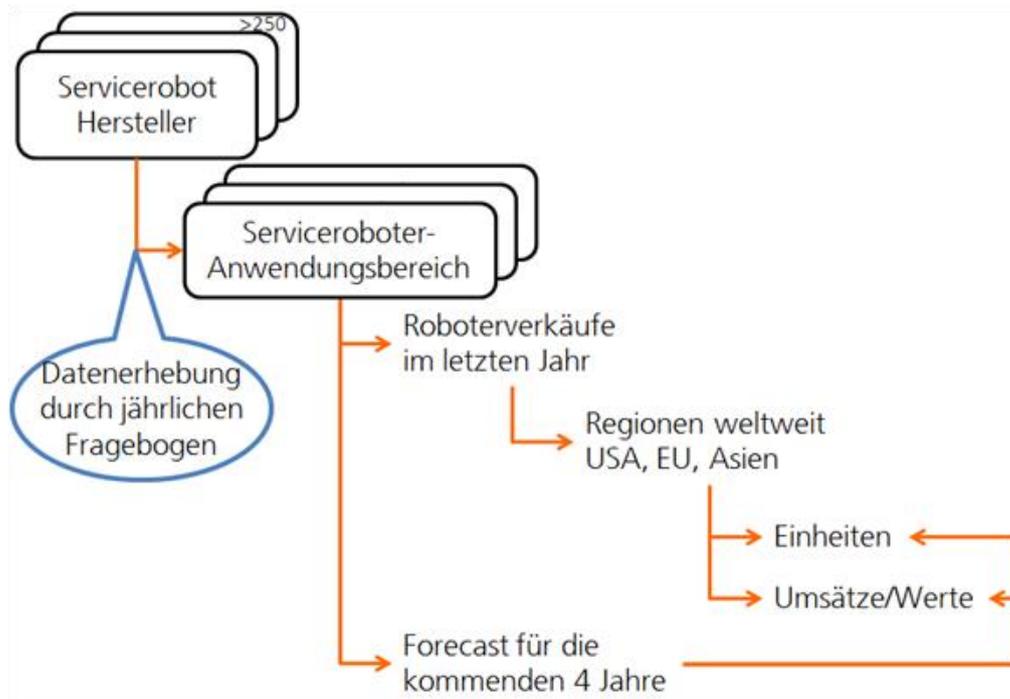
Weiterhin gelten beispielsweise folgende Verwendungen von Industrierobotern als Serviceroboter. In beiden Fällen ist der Anwendungsbereich entscheidend:

- Die Nutzung eines Industrieroboters in Anwendungen zum automatischen Melken, in der Chirurgie oder im Entertainmentbereich.
- Die Nutzung eines mobilen Roboters zur Reinigung eines Fabrikbodens.

4.3 Methode der statistischen Erfassung der Servicerobotik

Seit ca. 1999 wird die Servicerobotik statistisch erfasst, bis zum Jahr 2004 durch die UN/ECE, seit 2004 durch das Statistical Department der International Federation of Robotics IFR. Maßgebend war die Entwicklung einer ersten Definition und eines Klassifizierungsschemas, das nun über die Jahre durch die Marktentwicklung der Robotik angepasst wurde. Die Sammlung der Daten gibt Abbildung 4-1 wieder:

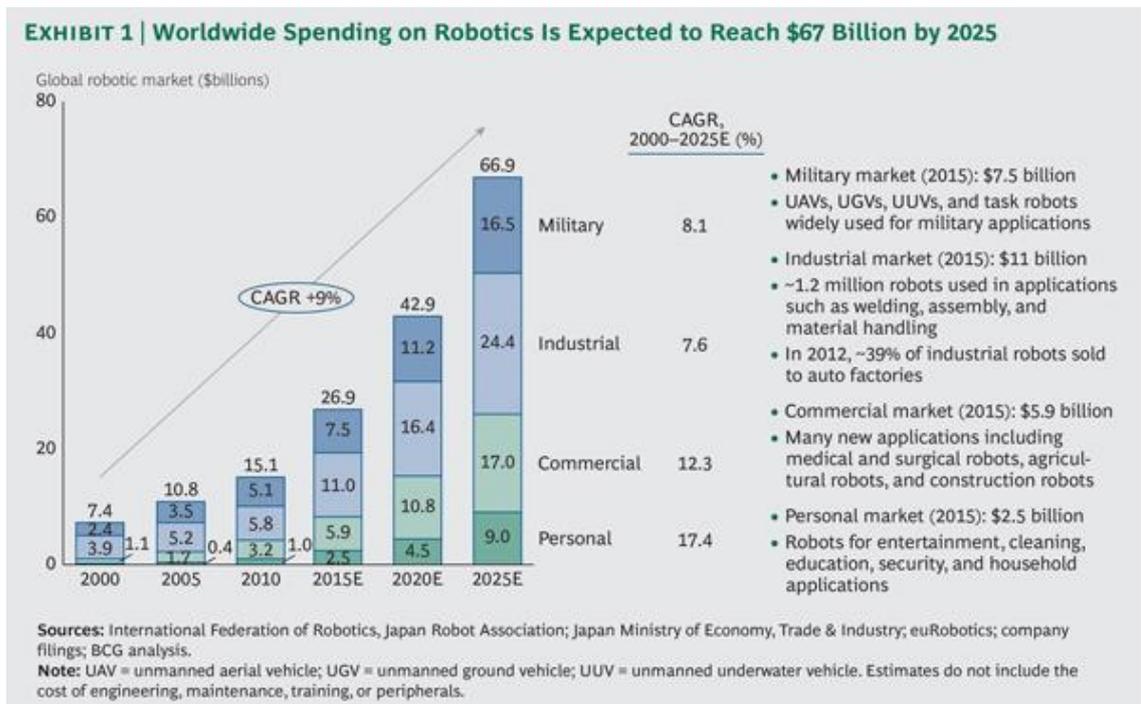
Abbildung 4-1: Vorgehensweise zur Durchführung der jährlichen Statistik zur Servicerobotik



Demnach werden aus einer Adressdatenbasis, weltweite Hersteller von Serviceroboterprodukten zur Ausfüllung eines Fragebogens angeschrieben (aktuell fast 300). Erfragt werden die im letzten Jahr verkauften Geräte nach Stück und Wert sowie der prognostizierte Absatz für die folgenden vier Jahre. Die Zahlen werden durch die IFR geprüft und aufbereitet. Wichtig in dem Zusammenhang ist, dass nur Zahlen von bekannten Firmen verwendet werden bzw. auch nur die Zahlen in die Statistik einfließen, die auch berichtet bzw. recherchierbar sind. Demnach sind die Verkäufe eine konservative Abschätzung.

Aktuell sind verschiedene Forecasts bis zum Jahre 2025 erstellt worden, die letztlich auf Wachstumsmodellen fußen, so die Untersuchung der BCG im Jahre 2014, siehe Abbildung 4-2 (Sandor und Meldon 2014). Hier sei angemerkt, dass die Zahlen zu konservativ angesetzt sind. Grund sind die gegenüber der Prognose (2015) steigenden Zahlen von Servicerobotern (Drohnen, Mobile Roboter für die Logistik, Verteidigung/Sicherheit) sowie die aktuell exorbitanten Zuwächse der Industrieroboter-Installationen in China.

Abbildung 4-2: Weltweiter Umsatz in der Robotik bis 2015



4.4 Statistik der Servicerobotik

Die letzte offizielle weltweite Erhebung der Märkte und Verkaufszahlen der Serviceroboter erfolgte im Jahr 2014. Aktuell werden die Rückmeldungen aus der Erhebung im Jahr 2015 durch die IFR und das Fraunhofer IPA bis September 2015 aufbereitet.

4.4.1 Serviceroboter: Anhaltend starker Anstieg bei persönlichen und Haushaltsrobotern sowie Logistiksystemen

Circa 21.000 Serviceroboter wurden 2013 weltweit für gewerbliche Anwendungen verkauft, 4 Prozent mehr als 2012. Der Gesamtumsatz sank geringfügig auf 3,6 Milliarden US-Dollar. Zwischen 2014 und 2017 werden – gestützt auf Angaben internationaler

Firmen – weitere 134.500 Serviceroboter mit einem geschätzten Wert von 18,9 Milliarden US-Dollar auf den Markt kommen.

4.4.2 Anhaltend starker Anstieg bei persönlichen und Haushaltsrobotern

Im Jahr 2013 wurden rund vier Millionen Roboter für den Einsatz im Haushalt und Privatbereich verkauft, 28 Prozent mehr als 2012. Das Umsatzvolumen belief sich auf ca. 1,7 Milliarden US-Dollar. Zwischen 2014 und 2017 sollen schätzungsweise 31 Millionen Serviceroboter für den privaten Gebrauch verkauft werden. Das deutet auf das anhaltend starke Wachstum im Bereich Serviceroboter hin.

Die Robotik für Privat- und Haushaltsanwendungen hat trotz relativ weniger massenmarktfähiger Produktgruppen weltweit stark zugelegt: Staubsauger-Roboter, Rasenmäher-Roboter und Roboter für den Edutainmentbereich. Zukünftige Produktideen betreffen Haushaltsroboter mit größerer Komplexität, Leistungsfähigkeit und höherem Wert, wie z. B. Assistenzroboter für Senioren, für Haushaltsaufgaben und zur Unterhaltung.

4.4.3 Erhebliches Wachstum im Segment Logistiksysteme

2013 wurden ungefähr 1.900 Logistiksysteme installiert, 37 Prozent mehr als 2012. Das sind 9 Prozent des Gesamtumsatzes an Servicerobotern für den gewerblichen Bereich. Circa 1.300 davon sind automatisch geführte Fahrzeuge (AGV) in Fertigungsumgebungen; dieser Bereich verzeichnet gegenüber 2012 einen Anstieg von fast 70 Prozent. Trotz verbesserter Datenbasis wird angenommen, dass die tatsächliche Zahl neu installierter Systeme noch weit höher liegt.

Man geht davon aus, dass der Markt für automatisch geführte Fahrzeuge (AGV) in Fertigungsumgebungen in den kommenden Jahren erheblich zulegt, da zunehmend wichtige Bedingungen für Investitionen in den AGV-Sektor geschaffen werden:

- Digitalisierung des Fertigungsraums. AGVs benötigen für ihre Aufgaben und Routenführung digitale Daten. Höhere Leistungsfähigkeit und Flexibilität vollautonomer Navigation ohne die Einrichtung von Markierungen oder Leitführungen.
- Längere Betriebszeiten durch kürzere Ladevorgänge aufgrund verbesserter Energiespeichertechnologien (Batterien, Superkondensatoren).
- Positivere Rückmeldungen zu Anwendung, Bedienkomfort usw. von AGVs in der Fertigungs- und Logistikbranche.

Zwischen 2014 und 2017 werden voraussichtlich über 10.200 Logistiksysteme verkauft; davon sind 9.200 automatisch geführte Fahrzeuge (AGV).

4.4.4 Zunehmende Automatisierung in Landwirtschaft und Viehzucht

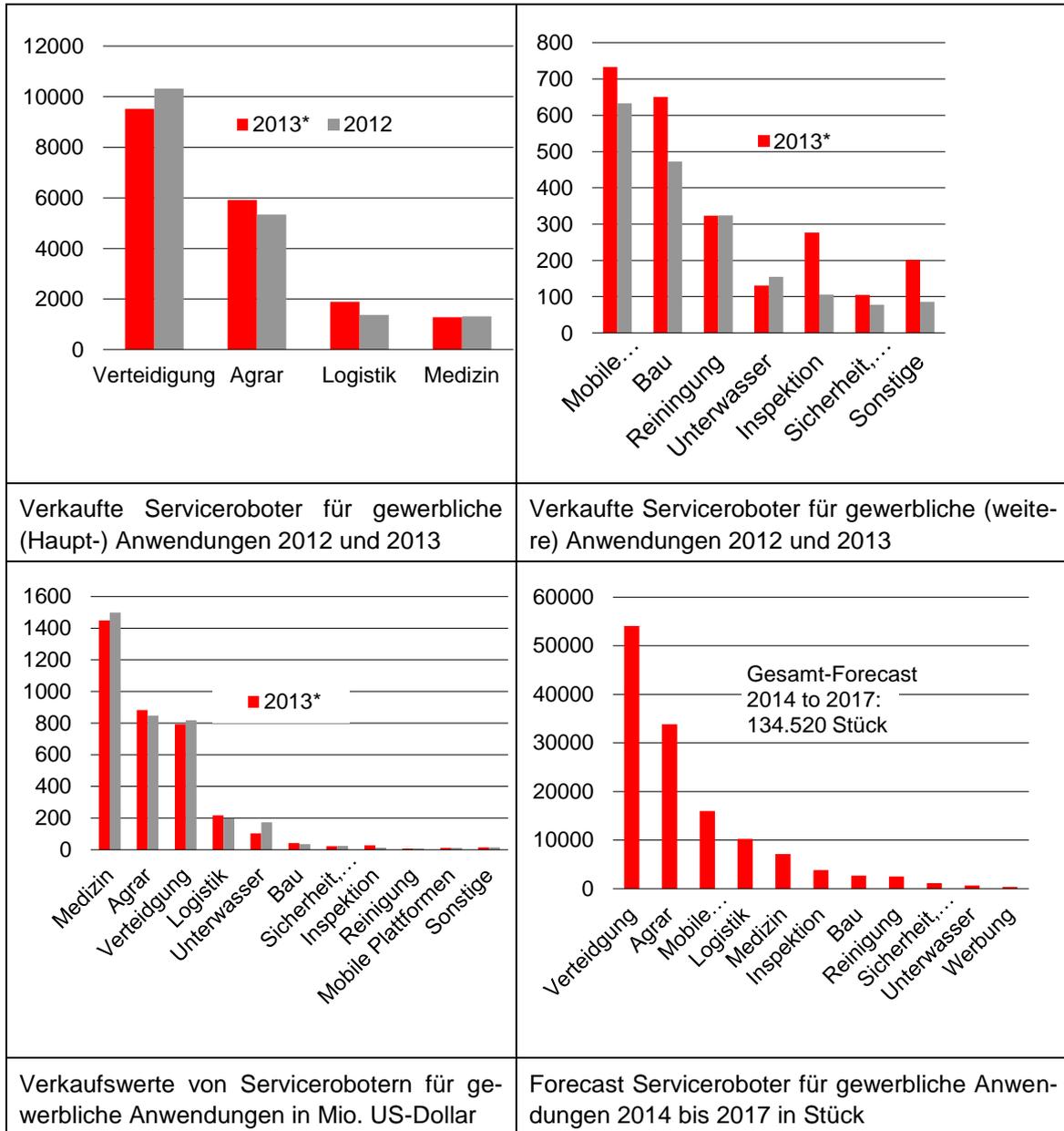
2013 wurden knapp 5.100 Melkroboter verkauft; 2012 waren es 4.750 Stück. Dies ist ein Anstieg von 6 Prozent. Bis einschließlich 2013 waren schätzungsweise 40.000 Melkroboter im Einsatz. Melkroboter sind somit in Anwendungen außerhalb der Fertigungsbranche ein absoluter Erfolg. Außer den eigentlichen Robotern bieten Hersteller auch zugeschnittene Paketangebote für Milchlagerung und Betriebsmanagement an. Im Jahr 2013 wurden zudem 760 Roboter anderer Bauart, z. B. mobile Scheunenreiniger oder Zaunkontrollroboter zur automatischen Kontrolle der Weidefläche verkauft; dies entspricht einem Anstieg von 46 Prozent. Landwirtschaftliche Roboter, z. B. für den automatisierten Ackerbau, behaupten sich ebenfalls am Markt. Die Gesamtzahl der 2013 verkauften Feldroboter betrug 5.900 Stück; dies entspricht einem Anteil von 28 Prozent am Gesamtabsatz von Servicerobotern für gewerbliche Anwendungen. Das Umsatzvolumen von Feldrobotern stieg um 4 Prozent auf 883 Millionen US-Dollar; dies sind 25 Prozent des Gesamtabsatzes in diesem Bereich. Zwischen 2014 und 2017 sollen schätzungsweise 34.000 Feldroboter, davon 28.200 Melkroboter, verkauft werden.

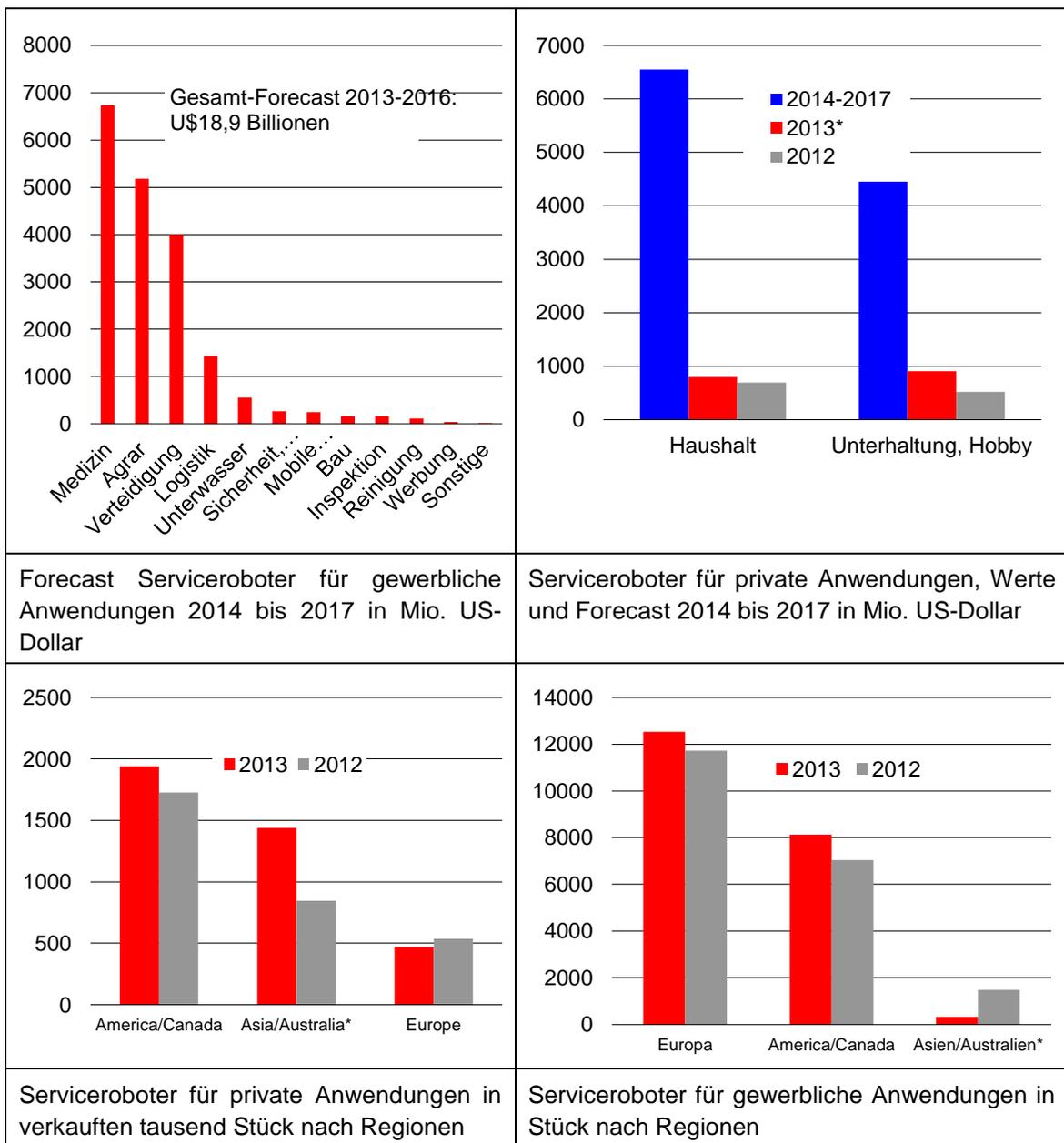
4.4.5 Rückläufige Nachfrage nach Robotern im Verteidigungs- und Medizinsektor im Jahr 2013

Etwa 9.500 im Jahr 2013 verkaufte Serviceroboter für den Verteidigungssektor stellten 45 Prozent aller Serviceroboter für gewerbliche Anwendungen. Davon scheinen unbemannte Flugzeuge der wichtigste Anwendungsbereich zu sein, obwohl ihr Absatz um 12 Prozent auf 8.500 Stück zurückging. Es wurden 750 unbemannte Bodenfahrzeuge verkauft, darunter auch Kampfroboter, 80 Prozent mehr als 2012. Fast 54.000 Roboter sollen im Verteidigungssektor zwischen 2014 und 2017 verkauft werden. Der Absatz von Medizinrobotern ging 2013 im Vergleich zu 2012 geringfügig um 2 Prozent auf 1.300 Einheiten zurück; dies entspricht 6 Prozent der Gesamtverkäufe an Servicerobotern im gewerblichen Bereich. Im Jahr 2013 wurden in den wichtigsten Anwendungen, im Bereich Roboter zur Unterstützung von Operationen und Therapien, 1.000 Roboter verkauft, 2 Prozent weniger als 2012. Der Gesamtumsatz im Bereich Medizinroboter stieg auf 1,45 Milliarden US-Dollar, d. h. 41 Prozent des gesamten Absatzvolumens in diesem Sektor. Medizinroboter sind mit einem Durchschnittspreis von ca. 1,5 Millionen US-Dollar pro Stück einschließlich Zubehör und Bedienelementen die teuersten Serviceroboter. Aus diesem Grund bieten Lieferanten medizinischer Roboter auch Leasingoptionen an. Der Verkauf von Medizinrobotern wird zwischen 2014 und 2017 auf 7.100 Einheiten ansteigen.

Es sollte nochmals betont werden, dass die statistischen Daten für Serviceroboter eine Schätzung sind, da nur die Umsatzzahlen Berücksichtigung fanden, die von Firmen selbst genannt oder direkt von ihnen bezogen wurden.

Abbildung 4-3 a bis h: Verkaufszahlen und -werte für Serviceroboter





Nach ersten Schätzungen wird der moderate Wachstumstrend von ca. 12 Prozent pro Jahr von Servicerobotern für gewerbliche Anwendungen anhalten. Dagegen zeichnet sich für die Roboter in persönlichen/domestischen Anwendungen ein erhebliches Wachstum in den kommenden Jahren ab:

Tabelle 4–1: Ausblick der Nachfrage nach Installationszahlen von Servicerobotern für 2014 und Markt-Forecast

Serviceroboter für:	Verkäufe 2013	Verkäufe 2014	Verkäufe 2013	Verkäufe 2014	Forecast 2015-2018	Forecast 2015-2018
	Anzahl	Anzahl	In 1.000 US-Dollar	In 1.000 US-Dollar	Anzahl	In Mio. US-Dollar
Gewerbliche Anwendungen	21.712	24.207	3.661.602	3.778.634	152.375	19.404
Persönliche/ domestische Anwendungen	3.642.342	4.672.365	1.703.520	2.186.267	35.083.000	20.642

Die Ausrüsterstruktur in der Servicerobotik ist heterogen:

- Industrieroboter-Hersteller vertreiben Lösungen für die Chirurgie und Therapie, Maschinenbauunternehmen nutzen Robotertechnologien zur Steigerung des Automatisierungsgrads ihrer Produkte (gesteuerte Betonverteilermasten, Reinigungsroboter, Melkroboter, Kanalinspektionsroboter etc.).
- Start-up-Unternehmen treten mit neuartigen Produkten für Nischenanwendungen auf, wie z. B. Roboter-Studio-Kameras oder Baumarkt-Auskunftssysteme. Selbst kleine Start-ups vertreiben europa-, wenn nicht gar weltweit, um das Absatzvolumen ihrer Produkte und Dienstleistungen in den aktuellen Nischenmärkten zu maximieren. Der Anteil der Start-up-Unternehmen (Alter kleiner 5 Jahre) beträgt in der Servicerobotik im weltweiten Mittel 15 Prozent.
- Der Markt der Roboter für domestische, private Anwendungen beschränkt sich aktuell weitgehend auf Roboter-Sauger, -Mäher und -Spielzeuge. Kaufanreize werden insbesondere auch durch Faszination und Neugier geschaffen.

Folgende Firmenstrukturen und Marktbewegungen lassen sich aktuell erheben:

- Der Anteil der Start-ups bei den aktuell über 320 Serviceroboter-Firmen weltweit beläuft sich auf ca. 50 Prozent. In Deutschland zählen wir dabei aktuell ca. 25 Start-ups (Singapur 7, UK 14, Schweiz 15, Frankreich 32, USA über 120).
- Übernahmen junger Firmen und Investitionen in Start-ups der Servicerobotik nehmen aktuell ungeahnte Höhen an. Als Auslöser wird von vielen die Akquisition (750 Millionen US-Dollar) von Kiva Systems durch Amazon im Jahre 2012 gesehen. 2013 folgten die Übernahmen von acht Roboterfirmen (keine hatte Roboter in nennenswerter Stückzahl vertrieben) durch Google. In 2014 wurden mehr als 340 Millionen US-Dollar in US-amerikanische Start-ups der Robotik investiert. Der Trend ist auch für 2015 ungebrochen (Deyle 2015).
- Foxconn und Alibaba investierten und halten seit Kurzem gemeinsam 40 Prozent der SoftBank Robotics Holding (590 Millionen US-Dollar). Zuvor wurde der französi-

sche Start-up Aldebaran übernommen. Insgesamt geht man davon aus, dass große Firmen aktuell in die Robotik und speziell Unternehmensgründungen investieren. Beispiele hierfür in Deutschland sind die Bosch Start-ups, Beteiligungen von Siemens.

- Neue Formen der gemeinschaftlichen Finanzierung und Entwicklung („Crowd Engineering“, „Crowdfunding“, „Open Source Ecology“) machen sich auch in der Robotik breit. So wurde der interaktive Multi-Media-Roboter Jibo (Spin-off aus dem MIT) mit über 25 Millionen US-Dollar über die Community ausgestattet.

In einer generellen Perspektive ist festzuhalten, dass sich zusätzlich zum traditionellen Einsatz in der industriellen Produktion mit der Servicerobotik ein völlig neuer Markt mit einem großen absoluten Volumen und großer Dynamik entwickelt hat, der in den ersten Jahren der Robotik allenfalls als Science Fiction betrachtet wurde. Die aktuelle Unternehmensdynamik deutet darauf hin, dass hier noch große Potentiale hinsichtlich der Marktvolumina und Anwendungsmöglichkeiten bestehen.

4.5 Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

In einer umfassenden Studie zur Servicerobotik (EFFIROB) im Jahre 2010 wurden anhand zahlreicher Serviceroboter-Szenarien die wesentlichen Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur Verbesserung von Kosten-Nutzen-Relationen bezüglich Schlüsseltechnologien, Komponenten und Systementwicklungsprozessen abgeleitet (Hägele et al. 2011).

Aus technischer Sicht wurden Forschungsbedarfe für die Servicerobotik gehäuft in den Bereichen Wahrnehmung, Navigation und Manipulation identifiziert, meist im Zusammenhang mit bislang unbefriedigend gelösten Software-Problemen.

Auf Seiten der Hardware fehlt im Wesentlichen nicht die Technik (Invention) in Form von Schlüsselkomponenten, sondern deren kostengünstige Verfügbarkeit (Innovation). Demnach erscheinen mit heutigen Technologien die meisten Anwendungen technisch, aber nicht unbedingt wirtschaftlich machbar. Die sich daraus ergebenden Postulate für zukünftige Forschungsbedarfe sind im Einzelnen folgende:

- Die Wahrnehmung ist erwartungsgemäß zentrale und wichtigste Funktion in der gewerblichen Servicerobotik, die mit anderen Technologien in Abhängigkeit steht. Da Verbesserungen in der Wahrnehmung vielverzweigte Auswirkungen in weitere Schlüsseltechnologien der Robotik haben (z. B. Navigation, Sicherheit, Mensch-Maschine-Interaktion), sollten Forschungsanstrengungen in die Richtung gelenkt werden, zukünftig schneller, zuverlässiger und in größerer Anzahl Objekte und Situationen unter Alltagsbedingungen erfassen zu können.

- Um die Navigation von autonom mobilen Servicerobotern zu verbessern, sollte die Robustheit von Bahnplanung und Selbstlokalisierung erhöht werden, um die Anfälligkeit gegenüber dynamischen Störgrößen, wie sie im Betriebsalltag vorzufinden sind (z. B. wechselnde Lichtverhältnisse, Witterung) zu senken. Insbesondere Ausrüster mobiler Robotersysteme fordern zur weiteren Anwendungerschließung Navigationsverfahren mit Verfügbarkeiten nahe 100 Prozent unter Alltagsbedingungen wie z. B. in öffentlichen Umgebungen, Hallen und Gebäudefluren.
- Die Fähigkeit zur physischen Interaktion mit Objekten (Manipulation) ist eine Schlüsseltechnologie für die Erschließung neuer Anwendungsfelder in der Service-robotik. Das Greifen von Objekten ist dabei eine häufig vorkommende (Teil-) Aufgabe, daher sollten Verbesserungen in Greifgeschwindigkeit und Griffvariabilität (Anzahl der verschiedenen greifbaren Objektformen) angestrebt werden.
- Bei Fehlverhalten oder Ausfall eines Serviceroboters muss der Mensch eine unkomplizierte Möglichkeit haben, den Roboter wieder zur gewünschten Funktionsweise überführen zu können, um die Akzeptanz der Robotiklösung sicherzustellen. Ein vielversprechender, die Robustheit der Anwendung steigernder Ansatz ist die so genannte „Shared Autonomy“, womit durch kurzzeitige Teleoperation (z. B. durch Online-Arbeitsplätze) oder durch Ad-hoc-Instruktion am Roboter vor Ort (z. B. durch Smart Phones) gezielt Informationen und Aktionen bereitgestellt werden.
- Die Sicherheit der Personen innerhalb des Arbeitsbereichs ist unabdingbare Voraussetzung für den Einsatz von Servicerobotern. Das aktuelle ISO-Normenwerk bietet bereits eine gute Grundlage für deren Realisierung. Aufgrund ihrer vielseitigen Einsetzbarkeit bei der Arbeitsraumüberwachung von Serviceroboter-Systemen sollte daher sicherheitsgerechte Sensorik zur 3D-Überwachung- und Annäherungserkennung vorhanden sein.
- Bezüglich der Hardware (typischer Roboterkomponenten wie Arm, Greifer, mobile Plattform, Sensoren etc.) lässt sich feststellen, dass zwar bereits ausreichend Funktionalität für vielzählige Anwendungen vorhanden ist, jedoch bei z. T. hohen Kosten und gleichzeitig tendenziell eingeschränkter Zuverlässigkeit aufgrund der noch jungen technischen Reifegrade. Hardwarebezogene Forschung sollte daher auf eine Verbesserung dieser Situation fokussieren.
- Oft unterschätzt, aber durch die EFFIROB-Studie klar belegt: Effizientes Software-Engineering ist entscheidend, damit die Entwicklungskosten für Serviceroboter-Anwendungen beherrschbar sind. Hohe Software-Entwicklungskosten könnten beispielsweise gesenkt werden, indem offene oder bestehende Software-Bibliotheken mit standardisierten und wiederverwendbaren Komponenten genutzt werden. Hier wurden bereits interessante Open-Source-Initiativen für Serviceroboter-Entwicklungen in den letzten Jahren gestartet, wie z. B. die ROS-Software-Plattform. Die ROS-Industrial-Initiative soll das Potenzial des »Robot Operating System« (ROS) künftig auch für höchst anspruchsvolle industrielle Anwendungen ausschöpfen. Unter der Leitung des Fraunhofer IPA fand in Stuttgart Ende Juni 2014 das Kick-off des

europäischen ROS-Industrial-Konsortiums statt. An Roboterentwicklung interessierte Unternehmen sind gerne eingeladen, sich hier aus erster Hand zu informieren.

4.6 Bilder zu Servicerobotern

Roboter in der Landwirtschaft

Der SW 6010 von AGROBOT besitzt zwei Arbeitsplätze, um das gepflückte Obst zu überwachen und zu verpacken. Sein ergonomisches Design bringt dynamischen Zugang und hervorragende Nutzerfreundlichkeit mit sich.



Melkroboter und Farmroboter

Das automatische Futtersystem von Lely Vector lädt verschiedenes Material in bestmöglicher Ordnung. Deshalb braucht die Zuteilung nur Licht und kleine Mengen. Die Partikelgröße in richtiger Länge fördert den gesunden Pansen und führt damit zu einer erhöhten Milchproduktion.

Bildquelle: Lely, Niederlande



Der Mlone von GEA Farm Technologies ist kein isoliertes Gerät im Milchparcours, sondern ein integrierter Bestandteil eines intakten Gesamtkonzepts. Im MultiBox-System hantiert der Roboterarm mit 5 Milchbehältern.

Bildquelle: GEA Farm Technologies, Deutschland



Reinigungsroboter

Der Robo2 (Cleanfix AG) ist eine selbständige Maschine für die gewerbliche Reinigung von Flughäfen, Krankenhäuser, Hotels und Einkaufszentren.

Bildquelle: BlueBotics SA, Schweiz



Das Gekko Robotersystem reinigt Oberflächen wie Sonnenkollektoren, große Glasfassaden, Öltanks, etc. An Oberflächen befestigt sich der Roboter durch bewegliche Gummisauger.

Bildquelle: Serbot AG, Schweiz



Systeme für Inspektion und Wartung

Expliner ist ein Roboter mit Selbstantrieb, der sich kopfüber entlang von Hochspannungsleitungen bewegt, um die Leitungen zu inspizieren, ihren Zustand zu prüfen, den Durchmesser zu messen und innere Korrosionen zu bestimmen. Expliner wird auch verwendet, um detaillierte Bilder von Abstandshaltern, Überbrückungen, Isolationsscheiben und anderen Komponenten zu liefern.

Bildquelle: HiBot corporation, Japan



Entworfen für gefährliche Umgebungen, ist der Versatrax 450™ TTC von Inuktun bestens für Anwendungen geeignet, in denen ferngesteuertes Handling und Inspektion erforderlich ist. Mit der Raupe, dem Seilzug und der Steuerung, die in das so genannte Pelican® Gehäuse integriert sind, ermöglicht der tragbare Roboter Inspektion, Aufgreifen und Entfernen von gefährlichem Material.

Bildquelle: Inuktun, Kanada



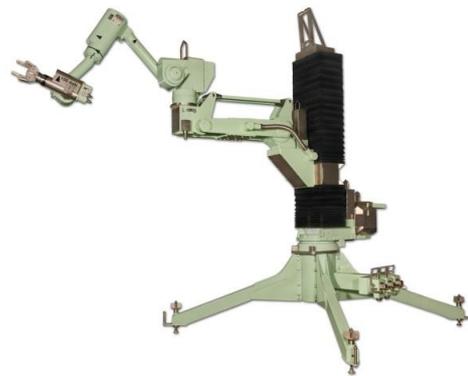
Roboter für Aufbau und Abriss

Mit seinem kompakten und beweglichen Design kann der Husqvarna DXR 310 praktisch überall eindringen und ist perfekt geeignet zum Demolieren und für leichte Aushubarbeiten drinnen und draußen. Er passt durch Türen, denn er ist gerade 78 cm breit. Treppensteigen schafft er leicht und kann sogar auf unebenen Oberflächen oder in Wandnähe agieren, dank seiner einzeln zu steuernden Auslegerarme. (© 2010 Husqvarna AB).



A1000S Heavy Duty Power Arm mit kartesischer Steuerung (6 Freiheitsgrade) ist ein kraftreflektierender Manipulator. Der A1000S wird in nuklearen und chemischen Einrichtungen verwendet, um radioaktives Material zu hantieren, zum Entkernen, Dekommissionieren, Dekontaminieren, für Wartungs- und schwere Arbeiten in heißen Zellen.

Bildquelle: Wälischmiller Engineering, Deutschland



Logistik Systeme, AGV in Fabrikhallen

BÄR Automation bietet das ConTrax AGV (Automated Guided Vehicle), um Gestelle zu unterfahren, anzuheben und zu drehen. Das AGV kann mit einer Positionsgenauigkeit von ± 2 mm anhalten. Zum Energiemanagement werden Kondensatoren anstelle von Batterien verwendet und das Resultat ist ein flexibles Layout in einer 24/7 Fertigung. Bildquelle: BÄR Automation GmbH, Deutschland



Dieses AGV von BA Systèmes mit Namen GL 8.1 ist mit seiner Breite von 800 mm ideal um Europaletten aufzunehmen. Die Betriebssicherheit, sowohl vorwärts als auch rückwärts, wird von Laserscannern eingebracht. Außerdem ist das AGV in der Lage, seine Batterie in Rekordzeit zu wechseln. Bildquelle: BA SYSTÈMES, Frankreich



Logistiksysteme (AGVs außerhalb von Fabrikhallen)

Der Courier-Roboter für Krankenhäuser (HOSPI) befördert Medizin und Waren, um dem Krankenhauspersonal mehr Aufmerksamkeit am Krankenbett zu ermöglichen.

Bildquelle: Panasonic, Japan



Evo von Oppent ist ein neues Krankenhausvehikel mit einer leicht in die Krankenhausinfrastruktur zu integrierenden Software.

Bildquelle: BlueBotics SA, Schweiz



Medizinroboter, roboterunterstützte Behandlung und Rehabilitationssysteme

Das Sensei X Robotic System besteht aus drei Komponenten: Arztarbeitsplatz, robotischem Kathetermanipulator und elektronischem Gestell.



Armeo@Power von Hocoma ist das erste käuflich zu erwerbende Exoskeletton mit Roboterarm für die Neuro-rehabilitation.

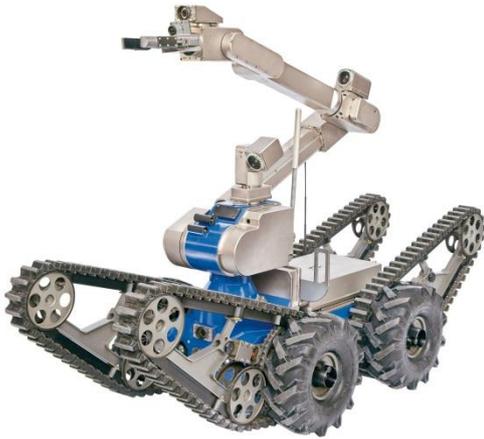
Bildquelle: Hocoma, Schweiz



Systeme zur Rettung und Sicherheit

telemax von Cobham (früher Telerob, Deutschland), stellt sicher, dass der lebenswichtige Abstand zwischen dem Bombenentschärfer und der Bombe eingehalten wird.

Bildquelle: Cobham, UK/Deutschland



SCORPIO ist ein kleines, ferngesteuertes Vehikel ausgestattet mit einer Wasserkanone oder einem Manipulatorarm. Mit nur 136 mm Höhe (inkl. Wasserkanone) ist es für alle Fahrzeuge geeignet, um Sprengstoff zu detektieren und mit demselben Gerät zu entfernen.

Bildquelle: ZTS VVU KOSICE a.s., Slowakei

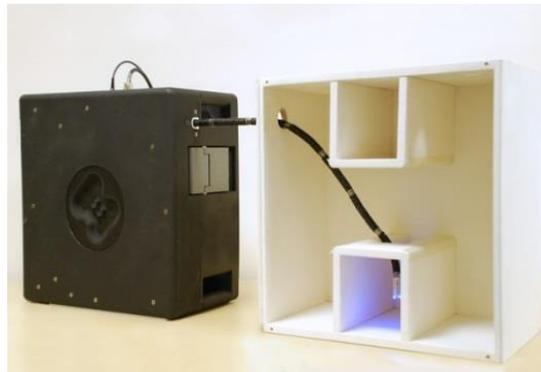


Die Roboterbasis SUMMIT XL von Robotnik (Spanien) kann selbstständig fahren oder ferngesteuert über eine PTZ-Kamera, die Video in Echtzeit überträgt. Die Open-Source-Steuerung basiert auf ROS. Bildquelle: Robotnik Automation, Spanien



OC Robotics hat an Technologien gearbeitet, die die Vorteile von Roboter-Schlangenarmen in gefährlichen Umgebungen zeigen. Der DTRA Snake-Arm ist ein tragbares Endoskop für Sicherheitsinspektionen und Wartungsarbeiten.

Bildquelle: OC Robotics, UK.



Verteidigungsanwendungen (Minenräumroboter)

Der Mini MineWolf (MW240) ist eine ferngesteuerte, transportierbare Maschine zum Minenräumen. Sie kann auch mit Mehrzweckzubehör, z. B. einem Roboterarm oder Löffelgreifer ausgestattet werden. Bildquelle: MineWolf, Schweiz



Der DIGGER Roboter kann einer 8 kg TNT Anti-Panzermine widerstehen. Copyright © DIGGER DTR, made in Switzerland by DIGGER DTR.



Verteidigungsanwendungen (Unbemannte Flugvehikel, UAV)

Das Extreme Access System for Entry (EASE) ist ein kleiner, schwebender Roboter, entworfen von CyPhy Works zur Inspektion, Überwachung und Wiedererkennung. EASE soll in umgrenzten Bereichen, jenseits der Einsehbarkeit und fern von GPS-Empfang eingesetzt werden. Bildquelle: CyPhy Works.



AeroVironment hat das Nano Air Vehicle (NAV) entwickelt, um eine neue Klasse von Drohnen für drinnen und draußen zu schaffen. Biologische Mimikry im kleinen Rahmen bringt diese unkonventionelle Drohne in die Lage, eines Tages Überwachungsaufgaben in städtischen Umgebungen durchzuführen. Bildquelle: AeroVironment.



Verteidigungsanwendungen (Unbemannte Bodenfahrzeuge)

Mobile Roboter der australischen Firma Marathon Targets repräsentiert ein realistisches Ziel, um Schützen für reale Kampfeinsätze vorzubereiten. Seit 2008 wird Marathon targets weltweit im Schützentraining aktiv genutzt. Bildquelle: Marathon Targets, Australien.



Die MTGR (Micro Tactical Ground Robot) Plattform von Roboteam ist ein leichtes, taktisches Fahrzeug. Zur Plattform gehört ein Manipulator mit 4 Freiheitsgraden, ein intuitives Interface und eine 360°-Videokamera für Tag- und Nachtaufnahmen.

Bildquelle: ROBOTTEAM, Israel.



Aktive, angetriebene Exoskelette

Aktive, angetriebene Exoskelette wurden entworfen, um ihren Träger in vielen Situationen zu unterstützen: zur Steigerung der menschlichen Fähigkeiten oder zur Rehabilitation. Ekso ist ein bionisches Exoskelett, das Rollstuhlfahrern erlaubt zu stehen und zu gehen.

Bildquelle: Ekso Bionics, USA.



Mobile Plattformen

Das Grizzly Robotic Utility Vehicle (RUV) wurde als Forschungsplattform für Outdoor-Anwendungen entworfen: für Landwirtschaft, Minenräume und in militärischen Umgebungen. Bildquelle: Clearpath Robotics, Kanada.



Die gezeigte kundenspezifische mobile Roboterplattform ist mit einem industriellen Roboterarm und 3D-Sensorausrüstung ausgestattet. Bildquelle: Fraunhofer IPA, Deutschland



Roboter für öffentliche Umgebungen

Der Genfer Flughafen (www.gva.ch) präsentierte einen neuen Roboter, ausgestattet mit ANT@ lite, ein Produkt von BlueBotics (www.BlueBotics.com). Der Roboter führt Passagiere in den Ruheraum, zum Bankautomat oder bringt Gepäck. Bildquelle: BlueBotics, Schweiz



Der preisgekrönte RoboCoaster ist die weltweit erste Anwendung der industriellen Robotik, die vollständig für den Passagiertransport zertifiziert wurde. Seit 2003 (bis 2011) hat RoboCoasters schätzungsweise 64 Millionen Passagiere getragen. Bildquelle: RoboCoaster Ltd.



OrgaCard und KUKA Systems einen Küchenhelfer eingeführt, der als Konzeptstudie die ergonomischen Bedingungen von Arbeitsplätzen in nicht-industriellen Bereichen verbessert. Bildquelle: KUKA Systems, Deutschland



SaviOne bringt Snacks und Zusatzleistungen zu den Hotelgästen und befähigt so das Hotelpersonal, sich um die anderen Gäste zu kümmern. Bildquelle: Saviok, USA



Roboterassistenten und Humanoide

HRP-4 ist eine lebensgroße Plattform zur Forschung und Entwicklung für und mit humanoiden Robotern, entwickelt von Kawada in Zusammenarbeit mit dem National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). HRP-4 besitzt einen besonders schlanken Körper.

Bildquelle: Kawada.



Romeo der französischen Firma ist eine robuste und wendige Forschungsplattform. Seine Höhe (140 cm) gestattet ihm, Türen zu öffnen, Treppen zu steigen und Objekte vom Tisch zu nehmen.

Bildquelle: Aldebaran



Roboter für Haushaltsaufgaben: Reinigen und Rasenmähen

Der Kobold VR100 Vakuumpereinigungsroboter ist der erste unabhängig tätige Vakuumpereiniger von Vorwerk. Der VR100 fährt mit innovativer Lasertechnologie durch verschiedene Räume und reinigt nach und nach alle Bodenbeläge.

Bildquelle: Vorwerk, Deutschland



Der iMow Roboter mäher für die intelligente Rasenpflege, entworfen um bis zu 4,000 Quadratmeter Rasen zu pflegen.

Bildquelle: Viking GmbH, Österreich



Ausbildung und Forschung

Die neue Generation Robotino 3.0 (seit 2014) ist ein mobiles Robotersystem für Ausbildung, Training und Forschung, hergestellt von Festo Didactic. Er basiert auf einem omnidirektionalen Antrieb.

Bildquelle: Festo Didactic, Deutschland



BeRobot ist der kleinste humanoide Roboter der Welt, der als Robotik Entwicklungsplattform für Forschung und Ausbildung eingesetzt wird.

Bildquelle: GeStream© Technology Inc.; Taiwan



Multimedia und ferngesteuerte Präsenz

Studenten mit speziellen gesundheitlichen Bedürfnissen verwenden VGo, um von zuhause oder vom Krankenhaus aus, die Schule zu „besuchen“. Der Student kann hören, sehen und sich unabhängig bewegen, um an der Klasse teilzunehmen wie seine Kollegen.

Bildquelle: VGo Communications, USA



Der ALIAS2 ist ein anpassungsfähiger Ambient Living Assistant (auf der mobile Basis SCITOS G5 mit einer Wii Konsole, Multi-media und mehreren Add-ons).

Bildquelle: MetraLabs GmbH, Deutschland



5 Technische, organisatorische und politische Aspekte von Industrie 4.0

„Industrie 4.0“ bezeichnet die vierte Stufe im Industrialisierungsprozess, wobei die digitale Vernetzung von Informationen, Objekten und Menschen im Mittelpunkt steht. Die erste Stufe des Industrialisierungsprozesses war durch die Einführung von mechanischen Produktionsanlagen mithilfe von Wasser- und Dampfkraft geprägt. Die zweite Stufe zeichnete sich durch die Einführung arbeitsteiliger Massenproduktion mithilfe elektrischer Energie aus und die dritte Stufe durch den Einsatz von Elektronik und Informationstechnologie zur weiteren Automatisierung der Produktion. Kennzeichnend für die aktuelle, vierte Stufe ist die konsequente und umfassende digitale Vernetzung aller Ressourcen der Produktion, einschließlich der Menschen in den Fabrikhallen über die Internet-Technologie (vgl. Kagermann 2013, S. 17).

Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde erstmals 2011 als Bezeichnung eines Zukunftsprojekts im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung verwendet. Auf Betreiben des BMBF wurde eine Forschungsagenda samt Umsetzungsempfehlungen von der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatec) ausgearbeitet, welche im April 2013 vorgestellt wurden. Die Forschungsagenda baute auf der „Nationalen Roadmap Embedded Systems“ des BMBF auf.

Ebenfalls im Frühjahr 2013 nahm die von den drei Branchenverbänden BITKOM, VDMA und ZVEI eingerichtete Plattform Industrie 4.0 ihre Arbeit auf. Die Verbändeplattform koordinierte die Aktivitäten in diesem Zukunftsfeld bis zum Frühjahr 2015. Im April 2015 wurde die Plattform unter gemeinsamer Führung von BMWi und BMBF neu gestartet.

Kennzeichnend im Bereich der Industrieproduktion ist die starke Anpassung der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-)Produktion (Mass Customization). Die für Industrie 4.0 notwendige Automatisierungstechnik soll durch die Einführung von Verfahren der Selbstoptimierung, Selbstkonfiguration und Selbstdiagnose intelligenter werden und die Menschen bei ihrer zunehmend komplexen Arbeit besser unterstützen.

Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich

nach unterschiedlichen Kriterien, wie beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.¹⁷

Ein zentraler Aspekt des Konzepts ist im Unterschied zur Automatisierung einzelner Geräte die Vernetzung zwischen Maschinen und Systemen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen und somit der horizontalen und vertikalen Wertschöpfungsketten. Horizontale Wertschöpfung umfasst dabei neben Einkauf, Produktion, Logistik und Planung im Betrieb auch Lieferanten und Kunden, die vertikale Wertschöpfung innerhalb des Unternehmens auch Vertrieb, Produktentwicklung, Service, IT und Finanzen (PwC 2014, S. 7).

Häufig wird Industrie 4.0 auch mit dem „Internet der Dinge“ assoziiert. „Der Begriff Internet der Dinge (englisch Internet of Things, Kurzform: IoT) beschreibt, dass der (Personal) Computer zunehmend als Gerät verschwindet und durch „intelligente Gegenstände“ ersetzt wird. Statt – wie derzeit – selbst Gegenstand der menschlichen Aufmerksamkeit zu sein, soll das „Internet der Dinge“ den Menschen bei seinen Tätigkeiten unmerklich unterstützen. Die immer kleineren, eingebetteten Computer sollen Menschen unterstützen, ohne abzulenken oder überhaupt aufzufallen. So werden z. B. miniaturisierte Computer, so genannte Wearables, mit unterschiedlichen Sensoren direkt in Kleidungsstücke eingearbeitet.¹⁸

Die Einführung des Internets der Dinge in der Produktion bedeutet, dass Geräte und Maschinen miteinander „kommunizieren“ können, weil neben Sensoren auch IT-Elemente zur Auswertung in die Geräte integriert sind. Die „intelligente“ Verarbeitung der massenhaft anfallenden Daten (Maschinenzustände, Produktionsdaten, Messdaten, GPS-Daten von Werkstücken usw.), die unter anderem zur Erkennung von Unregelmäßigkeiten im Betrieb genutzt werden kann, ist ebenfalls Teil des Industrie-4.0-Konzepts. Zentrale Akteure vertreten „Industrie 4.0“ meist als ein Gesamtpaket, das auf die Großserien-Produktion zielt. Denkbar ist jedoch auch, dass im Rahmen der Digitalisierung der Produktion nur einzelne Elemente aufgegriffen werden.

Die Frage der Datensicherheit betrifft vor allem Aspekte, bei denen Daten den Betrieb verlassen. Dies betrifft vor allem die Kommunikation mit Kunden und Lieferanten bei der horizontalen Wertschöpfung, die Abstimmung zwischen Betriebsteilen bei größeren Unternehmen mit verschiedenen Standorten oder die Speicherung von Massendaten in der „Cloud“ zur späteren Auswertung.

¹⁷ Aus https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0

¹⁸ https://de.wikipedia.org/wiki/Internet_der_Dinge

Die oft herausgestellte Notwendigkeit der Standardisierung stellt sich dann, wenn in einer größeren Produktionsanlage Geräte unterschiedlicher Hersteller miteinander kommunizieren sollen.

5.1 Notwendigkeit von koordinierenden, regulatorischen Eingriffen

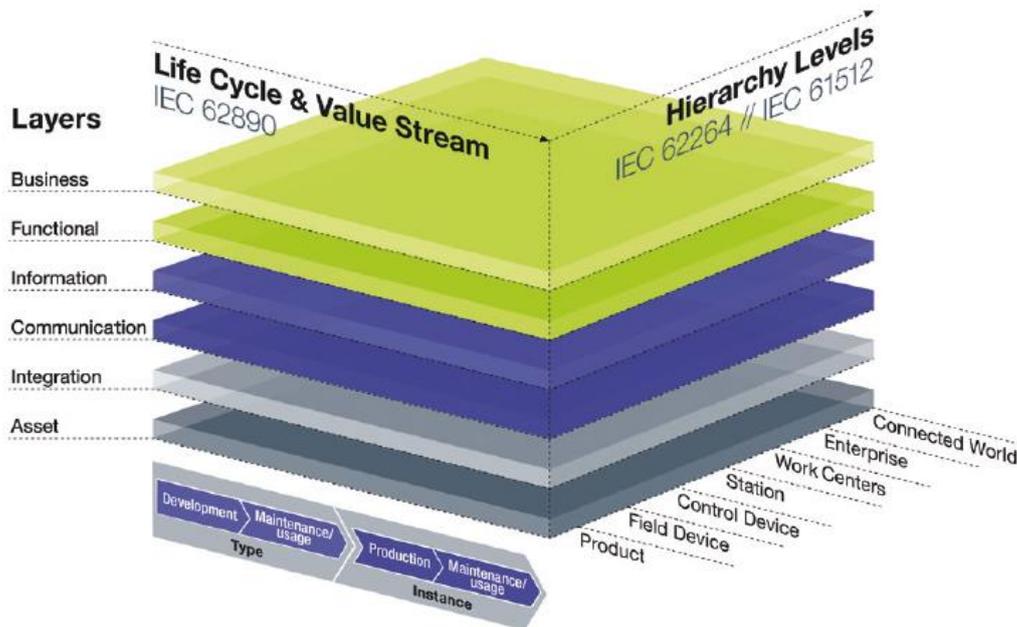
5.1.1 Die Situation in Deutschland und den Vereinigten Staaten

Im Hinblick auf die Notwendigkeit koordinierender und regulatorischer Eingriffe zum Thema Industrie 4.0 ist zunächst festzuhalten, dass sich auf Anregung der Bundesregierung die wichtigen deutschen Wirtschaftsverbände zwischen 2013 und 2015 auf der Plattform „Industrie 4.0“ (www.plattform-i40.de) über diese Themen verständigt haben und dabei insbesondere die Themen Standardisierung und Sicherheit in den Fokus nahmen. Die so genannte Verbände-Plattform Industrie 4.0 wurde von den Verbänden des Maschinenbaus (VDMA), der Elektroindustrie (ZVEI) und der Kommunikations- und IT-Technik (BITKOM) getragen und legte im April 2015 ihren Ergebnisbericht mit dem Titel „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0“ vor (BITKOM, VDMA, ZVEI 2015). Der Bericht widmet sich auf 30 (von knapp 100) Seiten den Themen „Referenzarchitektur, Standardisierung, Normung“ und rückt diesen Aspekt auch in der begleitenden Pressearbeit in den Vordergrund. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), das in dem Bericht entwickelt wird, solle ein „Raster“ bilden, „mit dessen Hilfe die Digitalisierung und die umfassende Vernetzung in der Produktion vorangetrieben werden können“, so die Pressemeldung der Plattform am 14. April 2014.¹⁹ Aus dem Referenzarchitekturmodell (siehe Abbildung 5-1) lassen sich laut Plattform Notwendigkeiten für eine Standardisierung und Normierung von Industrie-4.0-Komponenten ableiten.

Darüber hinaus widmet sich der Ergebnisbericht auf über 20 Seiten dem Thema „Sicherheit vernetzter Systeme“. Im entsprechenden Kapitel werden z. B. Schutzziele für Industrie 4.0 definiert, Prävention und Reaktion als kontinuierliche Prozesse identifiziert und exemplarische IT-Sicherheitsmaßnahmen vorgeschlagen.

¹⁹ www.plattform-i40.de/blog/umsetzungsstrategie-industrie-40

Abbildung 5-1: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) der Verbändeplattform Industrie 4.0



Quelle: BITKOM, VFMA, ZVEI 2015, S. 43

Beide Themen – Standardisierung und IT-Sicherheit – dominierten die Diskussion über Industrie 4.0 in Deutschland von Anbeginn. Zwar spielen in den diversen Industrie-4.0-Berichten und Pressemeldungen auch andere Themen, wie z. B. Bedarf an Forschung und Entwicklung, Auswirkungen auf die Arbeitsplatzgestaltung, IT-Kenntnisse der Mitarbeiter oder Nutzen von Industrie 4.0 eine Rolle, allerdings nicht in dem Maße wie Standardisierung und Sicherheit.

Die thematische Zuspitzung auf die Themen Standardisierung und Sicherheit wurde insbesondere vor dem Hintergrund der Aktivitäten in den USA immer wieder kritisiert. So wurde argumentiert, dass die Amerikaner schneller bei der Umsetzung der vernetzten Produktion seien, weil sie sich nicht mit langwierigen Standardisierungsfragen beschäftigten, sondern pragmatische Umsetzungskonzepte verfolgten (Spinnarke 2014). Während die deutschen Industrie-4.0-Aktivitäten einem systematischen, gründlichen und über Standards und Normen regulierten Top-down-Ansatz folgten, sei der amerikanische Ansatz ein pragmatischer, der vor allem auf Kollaborationen der Akteure und auf Pilotanwendungen setze, die bottom-up von den Akteuren vor Ort spezifisch entwickelt werden (Rosenberger 2015, Müller, G. 2015, Kagermann 2015). Auch ein einseitiger Fokus auf den Maschinenbau, der in Deutschland traditionell stark ist, wurde kritisiert,

und der starken IT-Orientierung in den Vereinigten Staaten gegenübergestellt, einem Ansatz, der weit dynamischere Ergebnisse zeitige (Lossie 2015).²⁰

Die Stärke der Amerikaner bei der Umsetzung digitaler Geschäftsmodelle hat hierzu-lande zu der Befürchtung geführt, dass sich im Bereich der Industrieproduktion Ähnliches ereignen könnte wie im Bereich der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien (Hard- und Software, Internet usw.): Während in Deutschland und Europa koordiniert und reguliert wird, werden in den USA Fakten geschaffen. Es steht die Befürchtung im Raum, dass die großen amerikanischen Software- und Internetkonzerne mit möglichen Produkten wie Google Machinery, iProduction von Apple oder Networked Production von Cisco die vernetzte Produktion in Deutschland in Zukunft bestimmten könnten.²¹

Vor diesem Hintergrund soll in diesem Abschnitt die Situation in den Vereinigten Staaten näher beleuchtet werden – allerdings ohne den Anspruch, letztlich zu klären, ob die geäußerten Befürchtungen begründet sind, oder, inwiefern der vermutete pragmatische und stärker IT-fokussierte Ansatz in den USA letztlich zu besseren Ergebnissen führt. In den USA wird die Diskussion um die vernetzte Produktion unter den Überschriften „Advanced Manufacturing“ oder „Industrial Internet“ geführt. Insbesondere zwei Aktivitäten sind in diesem Kontext zu nennen: Die AMP 2.0-Initiative der amerikanischen Regierung und die Aktivitäten des Industrial Internet Consortiums (IIC).

5.1.2 Die AMP 2.0-Initiative der amerikanischen Regierung

Die AMP 2.0-Initiative (Advanced Manufacturing Partnership) wurde im Jahr 2012 von der Obama-Administration ins Leben gerufen, nachdem eine interministerielle Arbeitsgruppe (Advanced Manufacturing National Program Office) in ihrem Abschlussbericht empfohlen hatte, Kräfte zu bündeln, Partner zu vernetzen und den Technologietransfer zwischen Universitäten und der Industrie zu fördern (PCAST 2013).

20 Die Gegenüberstellung von Maschinenbau als deutscher Stärke und Informationstechnik als amerikanischer Stärke hat seine Entsprechung auf Betriebsebene bei der Frage, wie die unterschiedlichen „Kulturen“ integriert werden können: Für den Maschinenbau haben die Stabilität und die Verfügbarkeit von Technik Vorrang, weshalb die Akteure in der Produktion sich oft eher vorsichtig und abwartend gegenüber neuen Technologien verhalten. Für Informatiker stehen dagegen innovative Lösungen, die durchgehende Vernetzung und neue Automatisierungsmöglichkeiten im Vordergrund, die evtl. erst nach einem längeren Trial-and-Error-Verfahren stabil funktionieren, vgl. Müller, G. 2015.

21 Hierbei handelt es sich um Phantasienamen. „Google Machinery“ stammt von Paul J. J. Welfens (Gespräch vom 30. Mai 2015).

Die Initiative zielt darauf ab, die US-Führerschaft bei neuen Technologien zu sichern und neue Arbeitsplätze in der Produktion zu schaffen. Der Lenkungsausschuss der AMP 2.0-Initiative besteht aus Vertretern führender Unternehmen und Universitäten, darunter Dow Chemical, Honeywell, Alcoa, Caterpillar, dem Massachusetts Institute of Technology oder der University of Michigan.

Die Steuerungsgruppe der AMP 2.0-Initiative hat drei neue Technologien mit zentraler Bedeutung für die Modernisierung der amerikanischen Industrie identifiziert: Digitale Produktion, Mess- und Prozesskontroll-Technologien (Advanced Sensing, Measurement and Process Controls) und neue Materialien (PCAST 2014, Knüpfper 2014a).

Vor dem Hintergrund möglicher Effizienzgewinne durch Smart Manufacturing²² und als Antwort auf Regierungsaktivitäten in anderen Ländern²³ wurde von der Initiative vorgeschlagen, vermehrt Public Private Partnerships (PPP) zu realisieren, durch die der Technologietransfer zwischen Universitäten und Produktionsunternehmen verbessert werden soll.²⁴

Realisiert werden soll dies durch ein „Nationwide Network for Manufacturing Innovation (NNMI)“, das in den nächsten zehn Jahren aufgebaut werden soll. Im Jahr 2014 hat die Obama-Regierung einmalig eine Milliarde US-Dollar für den Start eines solchen Netzwerks gefordert (Klein 2014), im Budgetentwurf für 2016 sind 600 Millionen US-Dollar für den weiteren Ausbau vorgesehen (McCormack 2015). Unklar ist, wie viel staatliches Geld tatsächlich in den Aufbau des Netzwerks fließt, da unterschiedliche Haushaltstitel betroffen sind, die Ausgaben sich auf eine Vielzahl von Ministerien und

22 Zitiert werden z. B. Bureau of Labor Statistics (2012): Industry Labor Productivity Trends from 2000 to 2010, Bureau of Labor Statistics, 2011 Employer Costs for Employee Compensation, Table 6 oder Bureau of Economic Analysis, 2010:U.S. Economic Accounts by Industry, abrufbar über <http://www.bea.gov/industry/index.htm>. Vgl. From Discovery to Scale-up: About the National Network for Manufacturing Innovation, abrufbar über <http://www.manufacturing.gov/nnmioverview.html>.

23 Verwiesen wird auf das Japanische National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), das Factories of the Future PPP der EU und die Fraunhofer-Gesellschaft in Deutschland mit ihrer Scharnierfunktion zwischen Forschung und Anwendung, vgl. DoE (2015): Advanced Sensors, Control, Platforms, and Modeling for Manufacturing (Smart Manufacturing): Technology Assessment. Department of Energy, February, abrufbar über <http://energy.gov/sites/prod/files/2015/02/f19/QTR%20Ch8%20-%20Smart%20Manufacturing%20TA%20Feb-13-2015.pdf>, S.3.

24 Die Kooperation zwischen Unternehmen und Universitäten in der Form von PPP hat in den USA insbesondere unter der Bezeichnung UIRC (University-Industry Research Center) oder I/UCRC (Industry & University Cooperative Research Center) eine lange Tradition (Abramson et al. 1997:111).

Organisationen erstrecken²⁵ und z. T. existierende Budgets umgewidmet werden. Allerdings stellten Beobachter fest, dass aus dem Netzwerk inzwischen ein sehr großes Regierungsprogramm zur Modernisierung der Industrie geworden ist („[...] has suddenly become a very large government-wide manufacturing program [...]“, McCormack 2015).

Ziel des Netzwerks ist es, zunächst 15 und langfristig bis zu 45 „Centers“ zu gründen, in denen Wissenschaft und Industrie zusammengeführt werden sollen. Das erste NMIIC (New Manufacturing Innovation Institute Center) wurde bereits 2012 zu Beginn der Initiative in Ohio gegründet, der Forschungsschwerpunkt liegt im 3D-Druck. Das zweite wurde in North Carolina eröffnet und befasst sich mit der Entwicklung energieeffizienter Halbleitertechnologien. Weitere Center befinden sich in Detroit (Leichtbau), Knoxville, Tennessee (Verbundmaterialien) und Chicago (Manufacturing & Design). Im Center in Detroit haben sich z. B. 73 Unternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, um die Entwicklung digitaler Prozessketten und Produktionszyklen voranzutreiben. Weiterhin befinden sich im Jahr 2015 drei neue Center mit den Themenschwerpunkten „Hybrid Electronics“, „Smart Manufacturing“ und „Integrated Photonics“ im Aufbau (vgl. www.manufacturing.gov/nnmi.html).

Beobachter sprechen davon, dass diese anwendungsbezogenen Forschungszentren nach dem Vorbild der deutschen Fraunhofer-Institute errichtet werden, da sie die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie stimulieren und das so genannte „Valley of Death“ zwischen Grundlagenforschung und kommerzieller Anwendung überwinden helfen sollen (Knüpfner 2014b). Die New Manufacturing Innovation Institute Center (NMIIC) sollen dazu beitragen, dass die Firmen Zugriff auf zukunftsträchtiges Forschungswissen haben und dass Netzwerke von Großunternehmen und Zulieferern entstehen.

Durch die Public Private Partnerships soll darüber hinaus die Finanzierung von mittelständischen Firmen der Verarbeitenden Industrie verbessert werden, sodass diese bei einer Ausweitung der Produktionskapazitäten nicht mehr ins Ausland gehen müssen. Zudem wurden Aktivitäten gestartet, um die Ausbildungsqualität an den Colleges in Richtung der Bedürfnisse für die Produktion zu verbessern und Initiativen umgesetzt, um auf die Berufsperspektiven in der verarbeitenden Industrie hinzuweisen.

25 Department of Defense, Department of Energy, Department of Commerce's National Institute of Standard and Technology (NIST), NASA, the National Science Foundation, Department of Education, and other agencies. Vgl. From Discovery to Scale-up: About the National Network for Manufacturing Innovation, http://www.manufacturing.gov/nnmi_overview.html.

5.1.3 Das Industrial Internet Consortium (IIC)

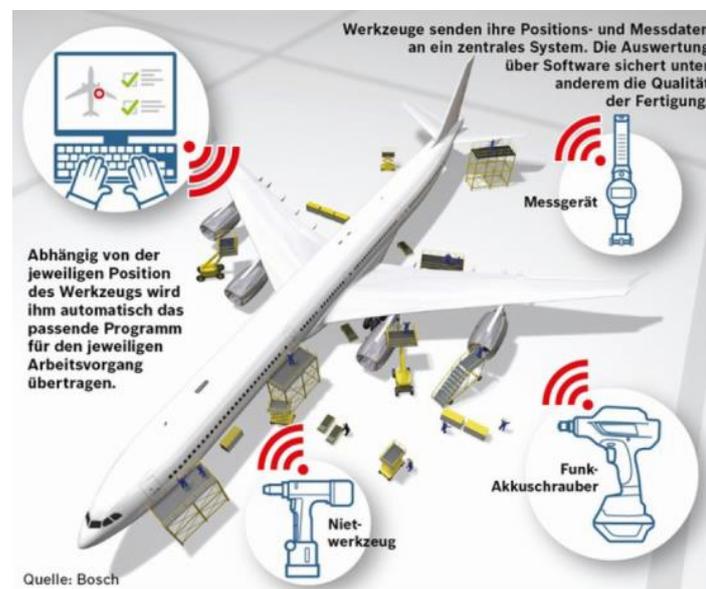
Die zweite Aktivität zur Förderung der vernetzten Produktion in den Vereinigten Staaten ist eine privatwirtschaftliche Aktivität und betrifft das Industriekonsortium „Industrial Internet Consortium“ (IIC), das im März 2014 von AT&T, Cisco, General Electric, IBM, und Intel als Non-Profit-Organisation gegründet wurde, und seinen Sitz in Needham, in der Nähe von Boston im US-Bundesstaat Massachusetts, unweit des MIT hat. Das IIC ist ein Industriekonsortium mit offener Mitgliedschaft und hatte Ende Januar 2015 insgesamt 136 Mitglieder. Hierzu gehören global tätige Unternehmen, Start-ups, Systemhersteller, Forschungseinrichtungen und Universitäten. Sieben der Mitglieder stammen bisher aus Deutschland (Siemens, Bosch, Infineon, SAP, Wittenstein, TU Darmstadt und mehrere Fraunhofer-Institute).

Gemeinsames Ziel der Mitglieder ist es, Anwendungsszenarien („use cases“) und Demonstrationstestfelder für die Verbindung von physischer und digitaler Welt in der Industrie auf den Weg zu bringen. Das IIC sieht sich selbst als Inkubator.²⁶ Es wird in Deutschland aber fälschlicherweise als Standardisierungsgremium wahrgenommen, was das IIC weder ist noch sein will (Knüpffer 2014a, BMWi 2015). Definiertes Ziel des IIC ist es, das Internet, und insbesondere das Internet of Things (IoT) für die Industrie global so nutzbar zu machen, dass für eine zukunftsfähige Entwicklung auch Wettbewerber miteinander kooperieren können. Das IIC adressiert sowohl die Produktion bzw. Fertigungsunternehmen als auch angrenzende Branchen wie Transport und Logistik, Gesundheitswesen und Medizintechnik, Stromversorgung/Smart Grids, Verkehrswesen sowie Smart Cities.

Das IIC hat in der deutschen Presse große Resonanz erfahren. Der Tenor der Berichterstattung lautete: Während die Deutschen Industrie 4.0 umständlich planen, prescht die USA – der größte Konkurrent der Deutschen – vor. Insbesondere die Tatsache, dass mit Bosch ausgerechnet ein deutsches Unternehmen beim ersten europäischen Feldversuch des Konsortiums eine Schlüsselrolle spielt, wurde teilweise mit Verwunderung wahrgenommen. Bosch ist auch Mitglied in der deutschen Plattform Industrie 4.0. Das inhaltliche Engagement von Bosch im IIC wird im nachfolgenden Kasten erläutert.

²⁶ www.iiconsortium.org/about-us.htm.

Im Rahmen seines IIC-Engagements will Bosch seinen Funk-Akkuschrauber „Nexo“ mithilfe von offenen Standards mit komplexen Fabrikabläufen vernetzen. Dazu ist eine Kooperation mit drei internationalen Unternehmen vorgesehen – alles Mitglieder des Industrial Internet Consortium. Im Projekt „Track and Trace“ (Verfolgung und Rückverfolgung) soll ein System entwickelt werden, das zunächst die Position eines Funk-Akkuschraubers innerhalb einer Werkhalle genau lokalisiert. Abgeleitet aus der Positionsbestimmung wird automatisch das richtige Drehmoment für die jeweilige Aufgabe gewählt. Damit werden z. B. sicherheitsrelevante Schrauben mit der vorgeschriebenen Kraft angezogen. Diese Werte lassen sich automatisch dokumentieren, um die Qualität der Produkte zu sichern und zu prüfen. In der entsprechenden Pressemitteilung von Bosch heißt es: „Künftig sollen sich industrielle Elektrowerkzeuge zum Bohren, Verschrauben, Vermessen oder Löten dank offener Standards lückenlos in ein Gesamtsystem vernetzter Werkzeuge integrieren lassen“ (Bosch 2015).



Quelle: Bosch 2015

Zu den möglichen Anwendungen vernetzter Schraub-, Niet- oder Messwerkzeuge gehören beispielsweise der Bau und die Wartung von Motoren und Flugzeugen. Im erwähnten Projekt „Track and Trace“ tragen die Projektpartner unterschiedliches Know-how bei: Bosch liefert den Funk-Akkuschrauber „Nexo“. Bosch Software Innovations steuert die für die Datengewinnung und -auswertung nötige Software „Bosch IoT Suite“ bei. Der Nexo sammelt und speichert Schraubergebnisse und überträgt sie per Funk. National Instruments vernetzt die Elektrowerkzeuge untereinander. Tech Mahindra kümmert sich um die Anwendungsprogrammierung. Cisco sorgt durch die Auswertung von Funksignalen für die genaue Positionsbestimmung der Akkuschrauber (Triangulation). Das Zusammenspiel der Komponenten wird derzeit bei Bosch in Berlin und im indischen Bangalore bei Tech Mahindra erprobt. 2015 sind Pilotanwendungen mit ersten industriellen Anwendern geplant. Das neue System der vernetzten Werkzeuge soll dank offener Standards universell einsetzbar sein, so Bosch. Die Vernetzung funktioniere unabhängig von Marke und Werkzeugtyp, so Bosch in der Pressemitteilung vom 12. Februar 2015 (Bosch 2015).

In der deutschen Diskussion über das IIC wurde darauf hingewiesen, dass auch in den USA die Aktivitäten zur digitalen Vernetzung erst am Anfang stünden. So stellte z. B. Kagermann 2015 fest, dass die Aufmerksamkeit, die das IIC bei uns genießt, vor allem eines dokumentiere: „[...] die hoch kompetitive Ausrichtung der deutschen Industrie am Weltmarkt und an der Konkurrenz aus USA und Asien. Die wichtigen Entwicklungen vollziehen sich jedoch derzeit in der näheren Umgebung. In vielen Regionen im Lande organisieren sich Verbände, Unternehmen und Sozialpartner und suchen gemeinsam Wege zur Ausgestaltung von Industrie 4.0 (Kagermann 2015). Nach der Einschätzung von Kagermann sieht das IIC seine Rolle darin, die Erfahrungen aus Testumgebungen für seine großen Mitgliedsunternehmen aufzubereiten. In Deutschland sei allerdings der Transfer vom und in den Mittelstand eine zentrale Aufgabe für die Koordination. Und auch die deutschen Industrieverbände, die das Thema Industrie 4.0 hierzulande voranbringen wollen, geben sich unbeeindruckt: Dass die USA schneller voranschritten als Deutschland, sehe er nicht, sagte ZVEI-Chef Ziesemer im April 2015. Der Wirbel um die US-Industrieinitiative IIC schein „wenig durch tatsächliche Arbeit und Ergebnisse hinterlegt zu sein“ (Rosenberger 2015, siehe auch Weiss 2015).

Dagegen steht die Erwartung, dass die Amerikaner besser in der Nutzung des Internet zur Wertschöpfung sind und dass sie in der Lage sein könnten, die dominante Internet-Infrastruktur-Software, die entsprechenden Tools und Cloud-Technologien schneller durchzusetzen. „Die Amerikaner werden Tatsachen schaffen, so wie sie es mit Google, Yahoo und Amazon schon getan haben. Deutsche Unternehmen sollten daher nicht abwarten, sondern strategisch investieren und IT-Technologien nutzbar machen“, meint z. B. Stefan Bungart, Leiter von General Electric Software Europe (Spinnarke 2014).

Die Dringlichkeitsrhetorik bezieht sich auch auf den Bereich der Robotik. So wurde im April 2014 berichtet, dass Google acht Roboterhersteller gekauft habe und dass dort jetzt „die Rollläden runtergelassen werden“, so Thomas Bauernhansl, der Leiter des Stuttgarter Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA). Nun arbeite das Unternehmen unter Ausschluss der Öffentlichkeit (Ciupek 2014). Bauernhansl: „Ich gehe davon aus, dass sie in zwei Jahren die Läden wieder hochlassen und sich unsere etablierten Roboterhersteller dann sehr wundern werden. [...] Da wird ein ernsthafter Konkurrent für die Industrie entstehen [...]“ (Ciupek 2014).

5.1.4 Relaunch der Plattform Industrie 4.0 im April 2015

Die Kritik an der deutschen Verbände-Plattform Industrie 4.0 bezog sich auf die starke Fokussierung auf den Maschinenbau, auf die Betonung der Bedeutung einer weitreichenden Standardisierung und einer umfangreichen IT-Sicherheit (siehe oben). Wäh-

rend die Standardisierung aus verschiedenen Gründen nicht vorankomme²⁷, werde insbesondere zu wenig für konkrete Kooperationen der Unternehmen untereinander getan, so die Kritiker (siehe z. B. Rosenberger 2015, Lossie 2015, Lixenfeld 2015).

Vermutlich nicht zuletzt vor dem Hintergrund des US-Ansatzes wurden beim Relaunch der Plattform Industrie 4.0 im April 2015 die Aspekte der Kooperation und des Wissenstransfers in den Mittelpunkt gerückt. Die um Politik, Gewerkschaften und die Fraunhofer-Gesellschaft erweiterte Plattform, die seither nicht mehr von den Verbänden, sondern von BMWi und BMBF koordiniert wird, solle die „Vernetzung praxisnah weiterentwickeln“, so Bundeswirtschaftsminister Gabriel bei der Präsentation der neuen Plattform Industrie 4.0 auf der Hannover Messe. Gabriel und Bundesbildungsministerin Johanna Wanka betonten, dass Deutschland mit seiner breiten industriellen Basis (22 Prozent des BIP) so gute Voraussetzungen wie kein anderes Land habe, große Effekte mit einer durchgehenden Digitalisierung zu erzielen. Nach Wankas Worten hat die erweiterte Initiative die Aufgabe, Industrie 4.0 bis zum letzten Mittelständler zu tragen, wozu auch das Aufzeigen konkreter Beispiele aus der Praxis für die Praxis gehöre (BMBF 2015). Außerdem soll den Arbeitnehmern die Sorge um den Verlust von Arbeitsplätzen genommen werden, die allgemeine wie die berufliche Ausbildung auf die Anforderungen durch Industrie 4.0 ausgerichtet und Normen und Maßstäbe für die Datensicherheit durchgesetzt werden (vgl. Giersberg 2015). Die neue Plattform Industrie 4.0 soll in die Digitale Agenda der Bundesregierung eingegliedert werden.

Welche Schwerpunkte die erweiterte Plattform Industrie 4.0 konkret setzen will, ist im August 2015 noch unklar. Die Einführung einer neuen dritten Säule in die Struktur der Initiative, die mit „Aktivitäten am Markt“ überschrieben wurde (siehe Abbildung 5-2), legt die oben beschriebene stärkere Praxisorientierung nahe. Konkrete Aktivitäten der Fabrikvernetzung vor Ort, Pilotanwendungen und projektbezogene Unternehmenskooperationen werden in der künftigen Arbeit der Plattform womöglich eine wichtigere Rolle spielen, als dies zuvor der Fall war.

27 Genannt wurde z. B., dass wettbewerbsrechtliche Gründe gegen einen einheitlichen deutschen Industrie 4.0-Standard sprechen. Auch das Verbänderecht, das einer Veröffentlichung der im Rahmen der Verbändeplattform erarbeiteten Standards entgegenstehe, wurde als Grund für das Scheitern der Standardisierungsbemühungen der Verbände angeführt (Schmidt 2015).

Abbildung 5-2: Struktur der neuen Plattform Industrie 4.0 seit 2015



Quelle: BMWi 2015, S. 13

Die Findungsphase wird begleitet von Unternehmensaktivitäten, die unabhängig von staatlichen Koordinationsbemühungen Aktivitäten im Bereich Industrie 4.0 entfalten. So haben z. B. die Deutsche Telekom und SAP im Frühjahr 2015 ein Konsortium gegründet, um gemeinsam Standards für die Digitalisierung und Vernetzung in der Industrie zu setzen und damit der deutschen Stimme in den internationalen Gremien mehr Gewicht zu verleihen (Fouhy und Kellerhof 2015). „Einfach, pragmatisch und schnell wollen wir De-facto-Standards schaffen. Wir müssen uns nicht vor Standards aus den USA fürchten. Wir wollen, dass bei einem so wichtigen Thema Deutschlands Stimme auch gehört wird“, sagte Reinhard Clemens, Vorstandsmitglied der Deutschen Telekom, der im Auftrag der Bundesregierung handelt. Die Kanzlerin hatte die beiden Unternehmen aufgefordert, die Standardisierung schneller voranzutreiben. Konkret soll der Standard gewährleisten, dass die Daten für Industrie 4.0, die in der Cloud gespeichert werden, dem deutschen Datenschutz unterliegen. Den Schutz ihrer Daten sehen vor allem Mittelständler als großes Hindernis auf dem Weg in die Industrie 4.0 an, wie Umfragen

zeigen (Schmidt 2015). Das SAP/Telekom-Konsortium versteht sich als Teil der erweiterten Plattform Industrie 4.0.

Die Fraunhofer-Gesellschaft, deren Präsident Raimund Neugebauer Mitglied in der Lenkungsgruppe der neuen Plattform Industrie 4.0 ist, verfolgt die Idee einer deutschen Cloud für Industrie 4.0 im Rahmen der Aktivitäten der Plattform. Das Fraunhofer-Projekt „Industrial Data Space“ hat zum Ziel, kleinen und mittleren Unternehmen eine sichere, d. h. insbesondere eine vor Industriespionage sichere deutsche Cloud zur Verfügung zu stellen. Neugebauer erläutert die Projektidee folgendermaßen: „Heute betreiben viele Einzelunternehmen eigene Server und wollen Daten miteinander austauschen. Google sagt: „Wir bieten euch einen Cloud-Service, wo ihr die Daten zentral ablegen könnt. Wir speichern und sortieren diese Daten für euch.“ Ab hier ist die Datensicherheit für die Unternehmen nicht mehr nachvollziehbar und im Extremfall nicht mehr gegeben. Der Industrial Data Space schafft einen gesicherten virtuellen Raum und die dazugehörigen Dienste, über den die Nutzer untereinander Daten austauschen. Er ermöglicht eine Vernetzung, wobei die Daten bei den Unternehmen bleiben und nur bei Bedarf für autorisierte Nutzer zusammengeführt werden. Dies ist von besonderem Interesse für jene deutsche Unternehmen, auch im Mittelstand, die Industrie-4.0-Anwendungen und smarte internetbasierte Technologien einsetzen wollen.“ (Fouhy 2015).

Die Forscher von den Fraunhofer-Instituten IAIS, IML und ISST setzen dabei auf bestehende IT-Infrastrukturen. Sie entwickeln spezielle Software, Semantiken und Standards, um die sichere Vernetzung zu gewährleisten und den einzelnen Unternehmen die Kontrolle über ihre Daten zu belassen. Nur auf den freigegebenen Teil der Daten können Netzwerkteilnehmer ohne Rückfrage zurückgreifen. Für mögliche Geschäftsmodelle werden derzeit Use Cases entwickelt – vorerst für die Branchen Automobilindustrie, Maschinenbau, Pharma und Chemie. Die Use Cases sollen auf der Cebit 2016 präsentiert werden (vgl. Fouhy 2015, Fraunhofer-Gesellschaft 2015).

5.2 Referenzmodelle zur Operationalisierung gemeinsamer und offener Standards

5.2.1 Bedeutung offener Standards

Die überragende Bedeutung des Referenzarchitekturmodells für die deutsche Industrie-4.0-Debatte wurde bereits angesprochen. Mit RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0) der Verbändeplattform steht seit Anfang 2015 ein solches Modell zur Verfügung. Auch wenn die starke Fokussierung auf ein einheitliches Top-down-Referenzmodell in der neuen Plattform Industrie 4.0 zugunsten verstärkter Kooperationen zwischen den Unternehmen relativiert werden wird, ist die Frage nach den Stan-

dards für Industrie 4.0 nach wie vor virulent. Selbst die Kritiker des deutschen Top-down-Ansatzes betonen die Wichtigkeit von Standards für die Verwirklichung von Industrie 4.0 (vgl. z. B. Schmidt 2015, Lixenfeld 2015).

Was aber genau mit „Standardisierung“ gemeint ist und welche konkrete Bedeutung Schnittstellen und Standards für den Erfolg von Industrie 4.0 haben, ist dabei oft unklar. Deshalb werden in diesem Kapitel Hinweise und Argumente zusammengetragen, die zur Klärung dieser Frage beitragen können.

Zunächst ist festzustellen, dass die großen, international und branchenübergreifend tätigen Unternehmen ein Interesse an offenen Standards und Schnittstellen haben. Weil Maschinen in Zukunft untereinander kommunizieren, bedarf es einer standardisierten Beschreibung ihrer Eigenschaften und aktuellen Zustände. Siemens setzt dabei auf offene Standards wie Profibus und Profinet, statt auf proprietäre Standards. Profibus (Process Field Bus) ist ein offener Standard für die Feldbus-Kommunikation in der Automatisierungstechnik und wird in der Fertigungs- und Prozessautomatisierung eingesetzt. Profinet (Process Field Network) ist der offene Industrial-Ethernet-Standard für die Automatisierung. Profinet nutzt TCP/IP und IT-Standards, ist Echtzeit-Ethernet-fähig und ermöglicht die Integration von Feldbus-Systemen. Das Konzept von Profinet ist modular aufgebaut, sodass der Anwender die Funktionalität selbst wählen kann. Diese unterscheidet sich im Wesentlichen durch die Art des Datenaustauschs, um den Anforderungen an Geschwindigkeit gerecht zu werden (vgl. Wikipedia-Einträge zu Profibus und Profinet).

Siemens begründet seine Präferenz für offene Standards damit, dass die meisten seiner Kunden für ihre Produktion Maschinen und Anlagen unterschiedlicher Hersteller benutzen. Siemens ist in unterschiedlichen Gremien an der Standardisierung von Industrie 4.0 beteiligt, so z. B. bei OPC UA, bei der IEC und der ISO (Siemens 2014).

Dieter Wegener, Vice President Advanced Technologies & Standards bei Siemens sagt, „[...] es wäre aber falsch zu glauben, dass wir in Zukunft einen einzigen oder nur ganz wenige Standards in der Industrie haben werden. Dafür sind die Anforderungen in den verschiedenen Branchen einfach zu unterschiedlich. Wer aber am Ende die Standards setzen wird, lässt sich heute noch nicht wirklich verlässlich vorhersagen“ (Siemens 2014).

Auch General Electric (GE) ist mit dem Problem konfrontiert, dass Maschinendaten oftmals in unterschiedlichen Formaten vorliegen. Und dies selbst aus Maschinen, die aus dem eigenen Unternehmen kommen. Deshalb arbeitet auch GE an Maßnahmen, offene Kommunikationsprotokolle, Formate und Schnittstellen zu schaffen. Ziel ist es, die Daten von Flugzeugturbinen, Zügen, Blockheizkraftwerken oder Windenergieanla-

gen, die weltweit installiert sind, zunehmend zu vereinheitlichen und mit dem Internet zu verbinden. „Indem die autonomen Maschinen über das Transportmedium Internet mit einem übergreifenden Netzwerk verbunden sind, können wir die vorhandenen Daten in einem weitaus größeren Umfang nutzen als bisher“, so Stefan Bungart, Leiter GE Software Europe (Spinnarke 2014).

5.2.2 Open Source für Industrie 4.0

Einen spezifischen Fall stellen offene Standards dar, die sich am Modell der Open-Source-Software orientieren. Open-Source-Software ist eine Software mit offenem Quellcode, d. h. Entwickler und User können Open-Source-Programme selbst anpassen und weiterentwickeln. In einem geregelten Prozess werden Verbesserungen an der Software allen Usern zur Verfügung gestellt.

Die wichtigste Open-Source-Software im Bereich der Fabrikautomatisierung ist die so genannte AutomationML (Automation Markup Language), die ein neutrales, XML-basiertes Datenformat für die Speicherung und zum Austausch von Anlagenplanungsdaten zur Verfügung stellt. „AutomationML ermöglicht den standardisierten Austausch von Engineering-Daten in einer heterogenen Tool-Landschaft von modernen Engineering-Werkzeugen für verschiedene Disziplinen, wie z. B. Mechanisches Design, Elektrisches Design, HMI-Entwicklung, SPS-Programmierung oder Robotersteuerung“, so die Erklärung in Wikipedia (Eintrag „AutomationML“).

AutomationML beschreibt Anlagenkomponenten als Objekte mit verschiedenen Aspekten. Ein Objekt kann eine Schraube, einen Greifer, einen Roboter oder eine komplette Fertigungszelle in jeweils verschiedenen Detaillierungsstufen beschreiben. Für zukünftige Erweiterungen ist AutomationML so ausgelegt, dass weitere Formate mit ähnlichen Referenzierungsmechanismen integriert werden können. Die Entwicklung und Standardisierung der AutomationML wurde seit 2006 von Daimler als Zwischenformat der Digitalen Fabrik zusammen mit ABB, KUKA, Rockwell Automation, Siemens, netAllied und Zühlke sowie der Universität Karlsruhe und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg betrieben. Im Jahr 2009 öffnete sich das vorher geschlossene Industriekon-sortium durch die Gründung eines Vereins. Erstes neues Mitglied wurde das Fraunhofer IOSB, das seither als Promoter von AutomationML tätig ist.

Das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) in Karlsruhe leitet darüber hinaus eine Arbeitsgruppe, die sich mit der Integration von AutomationML und OPC UA beschäftigt. Die OPC Unified Architecture ist in gewisser Weise ein konkurrierender Standard für den Austausch von Maschinen- und Prozessdaten und geht auf eine Initiative verschiedener großer Firmen der Automatisierungsin-

dustrie wie Fisher-Rosemount, Intellution und Siemens zurück. Heute ist OPC der Standard zur herstellerunabhängigen Kommunikation in der Automatisierungstechnik. Die Zertifizierungssoftware OPC Compliance Test, die den OPC-Mitgliedern kostenlos zur Verfügung gestellt wird, stellt dabei die Kompatibilität sicher (vgl. Wikipedia-Eintrag „Open Platform Communications“). Eine Vereinigung beider Standards soll den übergreifenden Einsatz von auf Open Source basierter Software für die vernetzte Produktion ermöglichen. Darüber hinaus entwickelt das Fraunhofer IOSB Anwenderhilfen und Assistenztools, mit denen die Einführung der Standards in der Praxis erleichtert werden soll. Die Anwenderhilfen reichen von grafischen Modellierungstools und Prozess-Visualisierungen über Konformitätstest-Tools bis hin zu Konvertern (Fraunhofer IOSB 2015).

In einer Studie von IW Consult für den Verband der bayerischen Wirtschaft wird Industrie 4.0 als Integration von segmentierten Partialsystemen zu einem integrativen Gesamtsystem beschrieben. Diese Integration setzt eine Öffnung der Partialsysteme voraus. Dabei besitzen Open-Source-Systeme gegenüber proprietären Systemen spezifische Vorteile: „Open-Source-Systeme bieten den Vorteil, dass relativ geringe Implementierungskosten bei der Nutzung von Plattformen zu erwarten sind. Kleine und mittlere Unternehmen könnten dadurch schneller in den Markt von Industrie 4.0 eintreten. Ein weiterer Vorteil von Open Source ist, dass zukünftige Anforderungen einfacher integriert und obsolet gewordene Konfigurationen einfacher gelöscht werden können. Derzeit ist es noch nicht a priori absehbar, welche Anwendungen in Zukunft relevant sind und welche nicht. Eine möglichst große Systemflexibilität ist vor diesem Hintergrund wichtig“ (Kempermann und Lichtblau 2014). Im Ergebnis sieht IW Consult somit klare Vorteile von Open Source für den Einsatz bei KMU.

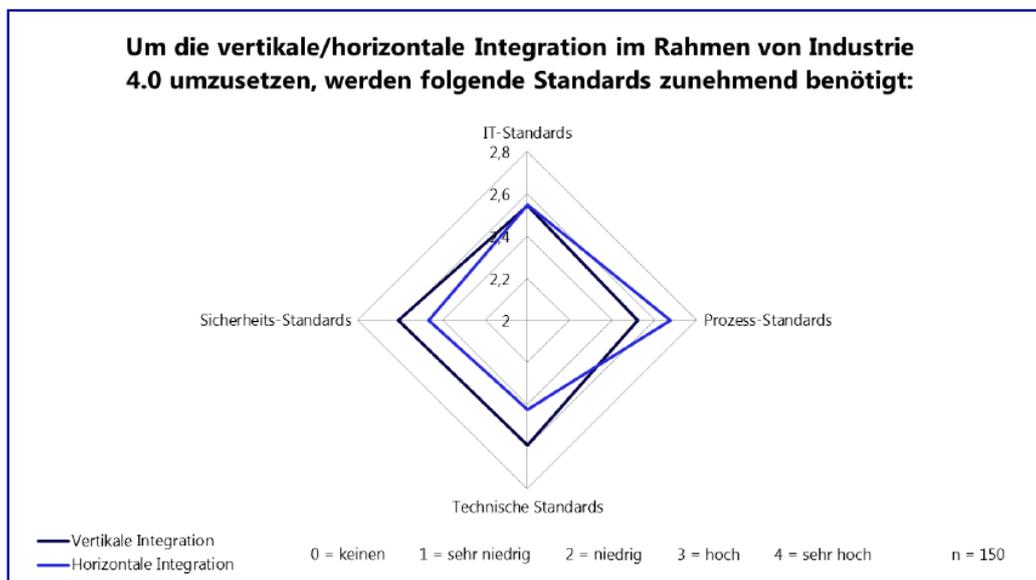
Für viele kleine und mittlere Unternehmen ist das Thema Open-Source-Software aber offenbar mit der Befürchtung verbunden, dass sensibles Prozesswissen abfließen könnte. „Open“ wird oftmals so interpretiert, dass auch Betriebsfremde Daten aus der Produktion abgreifen oder mitlesen können (so z. B. in Müller, G. 2015). „Gerade der Mittelstand hütet sein Know-how wie seinen Augapfel“, so der Wittenstein-Manager Jochen Schlick, „das ist eher das Gegenteil von Open Source“ (Hammerschmidt 2013). Darüber hinaus ist unklar, inwieweit sich IT-Dienstleister, die von mittelständischen Produktionsbetrieben beauftragt werden können, bereits auf Open Source eingestellt haben. Dies müsste in einer separaten Recherche eruiert werden. Die angesprochene Skepsis der KMU gegenüber Open Source kann als Indikator interpretiert werden, dass in vielen Fällen die Kenntnisse von KMU in IT-Fragen verbessert werden müssten.

5.2.3 Standardisierungsanforderungen für Industrie 4.0

Prinzipiell geht es bei der Standardisierung von Industrie 4.0 um zwei verschiedene Ebenen der Integration: Die horizontale und die vertikale Integration. Unter *horizontaler Integration* versteht man die Integration der verschiedenen (IT-)Systeme für die unterschiedlichen Prozessschritte der Produktion, zwischen denen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft. Dieses gilt *innerhalb des Unternehmens, aber auch über mehrere Unternehmen hinweg*. Bei der *vertikalen Integration* geht es hingegen um die Integration der verschiedenen (IT-)Systeme in Produktion und Unternehmensorganisation zu einer durchgängigen Lösung *innerhalb des Unternehmens* (vgl. Kagermann 2013, S. 24).

Die nachfolgende Grafik aus der MHP-Studie „Industrie 4.0. eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie“ von 2014 verdeutlicht zudem, dass sowohl für die horizontale als auch für die vertikale Integration zunehmend IT-, Prozess-, technische und Sicherheitsstandards erforderlich sind (Kelkar et al. 2014) (Abbildung 5-3). Für die vertikale Integration sind vor allem Sicherheitsstandards gefragt, während es bei der horizontalen Integration vor allem Prozessstandards sind, die zur Umsetzung benötigt werden.

Abbildung 5-3: Standardisierungsbereiche für Industrie 4.0



Quelle: Kelkar et al. 2014, S. 29f

Die Vernetzung in der Industrie 4.0 gehe nur über gemeinsame, offene Standards, die aber aus Deutschland heraus verbreitet werden müssen, sagt der Chef des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken, Wolfgang

Wahlster. Derzeit versuchten Amerikaner und Asiaten aus ihrer starken Position in der Internettechnologie, Deutschland bei der Standardisierung zu überholen. „[...] aber dort fehlt den Konsortien das Know-how im Bereich der eingebetteten Intelligenz im Maschinen- und Anlagenbau“, sagt Wahlster (Schmidt 2014).

Andere Akteure sehen einen deutschen Alleingang nicht als sinnvoll an. „Es wird keinen deutschen Standard geben, weil Deutschland eine Exportnation ist“, sagt z. B. Telekom-Mann Clemens. Auch Deutschland brauche einen international anerkannten Standard. Es gehe aber darum, „[...] deutsche Interessen bei dem Thema koordiniert zu vertreten“ (Schmidt 2015).

Das IIC sei aber keine Konkurrenz zu Industrie 4.0 und wolle es auch gar nicht sein, sagt Heinrich Munz von Kuka Roboter und einer der Hauptakteure in der deutschen „Plattform Industrie 4.0“ (KUKA 2013). Das IIC wolle gar keine Standards setzen, die Industrie-4.0-Plattform jedoch sehr wohl und im Hintergrund gäbe es bereits Bestrebungen, die in Industrie 4.0 erarbeiteten Standards in das IIC einzubringen, um die Industrie-4.0-Standards auch außerhalb von Deutschland bekannt zu machen, sagte Munz (Schmidt 2015). In dieser Perspektive erweist sich die oben angesprochene Beteiligung deutscher Unternehmen am ICC als durchaus sinnvoll.

5.2.4 Unterschiedliche Interessen von großen Unternehmen und KMU

Bei einer genaueren Betrachtung der Standardisierungsargumente zeigt sich, dass große Unternehmen und KMU unterschiedliche Standardisierungsanforderungen und -erwartungen haben. Während die großen und oftmals IT-getriebenen, bzw. IT-affinen Unternehmen wie z. B. Siemens, General Electric, SAP und Deutsche Telekom auf eine möglichst umfassende Integration von Produktion und IT setzen, sind für die kleinen und mittleren Unternehmen insbesondere des Maschinenbaus die kleinen Integrationsschritte von Interesse, bei denen darüber hinaus der Schutz des Produktions-Know-hows wesentlich ist.

Ein Beispiel für die Herangehensweise eines großen Unternehmens ist die Organisation der Produktion der Simatic-Steuerungen bei Siemens im Werk in Amberg (Abbildung 5-4). In der Vorzeige-Fabrik wird nach der Einschätzung von Siemens heute schon produziert, wie es in zehn Jahren Standard sein könnte: „Die Produkte steuern ihre Fertigung selbst. Simatic produziert Simatic: Speicherprogrammierbare Steuerungen steuern die Fertigung ihrer Artgenossen. „Der Lebenslauf eines jeden Produkts lässt sich in Amberg bis ins kleinste Detail verfolgen“, so die Beschreibung im Siemens-Magazin „Pictures of the future“ (Zisl 2015). Und weiter heißt es: „Täglich entstehen so rund

50 Millionen Prozessinformationen, die in das Manufacturing Execution System Simatic IT eingespeist werden. Die Software definiert sämtliche Fertigungsregeln und -prozesse. Damit wird die Produktion von Anfang bis Ende virtuell erfasst und gesteuert.

Abbildung 5-4: Produktion von Simatic-Steuerungen im Siemens-Werk in Amberg



Quelle: Zistl 2015

Zudem ist sie eng mit der FuE-Abteilung vernetzt. Neueste Daten über die Weiterentwicklung von Simatic gelangen über die Software-Lösungen NX und Teamcenter unmittelbar in die Fertigungsprozesse“ (Zistl 2015). „Wir lernen aus den Erfahrungen, die wir in Amberg sammeln und setzen sie ein, um die Innovationswünsche unserer Kunden bestmöglich zu erfüllen“, sagt der Werksleiter des Siemenswerks in Amberg (Zistl 2015).

Interessant im Hinblick auf die Qualifikation und die Anforderungen an die Mitarbeiter in der digitalen Fabrik ist die Tatsache, dass in der Siemens-Vorzeigefabrik in Amberg offenbar 40 Prozent der jährlichen Produktivitätssteigerungen auf Verbesserungsideen der Mitarbeiter zurückgehen, die über das betriebliche Vorschlagswesen eingehen. Der Werksleiter des Amberger Werks wird in einem weiteren Artikel in Pictures of the Future folgendermaßen zitiert: „Es ist nicht unser Ziel, eines Tages eine menschenleere Fabrik zu haben. [...] Denn auf die zündenden Ideen, wie sich das System weiter optimieren lässt, kommen die effizienten Maschinen nicht von selbst. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor im Werk Amberg ist das Vorschlagswesen. Die Verbesserungsideen der Mitarbeiter sind für 40 Prozent der jährlichen Produktivitätssteigerung verantwortlich [...] Die anderen 60 Prozent werden durch Investitionen in die Infrastruktur abgedeckt, beispielsweise den Kauf neuer Montagelinien oder die Innovation des Logistikequipments“ (Kreutzer 2014).

Auch Bosch könnte als Beispiel für ein innovatives großes Unternehmen herangezogen werden, das Interesse an einer möglichst umfassenden Integration von Produktion und IT hat (vgl. obige Beschreibung des Projekts „Track and Trace“ im Kontext des amerikanischen Industrial Internet Consortiums).

Auf der anderen Seite stehen die kleinen und mittleren Unternehmen, für die eine Verknüpfung von Maschinen-, Produktions- und Betriebsdaten schon in kleinerem Umfang große Effekte zeitigen kann (vgl. Müller, G. 2015). Hier sind die Standardisierungserfordernisse auf die Frage gerichtet, welches Datenformat bei der Übergabe der Maschinendaten an das Office-System verwendet werden soll und in welcher Form die Daten weitergegeben werden sollen. Erwartungsgemäß sind die Maschinenbauer hier keine Treiber, was die IT-Vernetzung angeht, sondern reagieren dann, wenn die Nachfrage da ist und wenn Standards vorhanden sind, nach denen sie sich richten können.

Es gibt eine Reihe von Beispielen innovativer Mittelständler, die eigene Lösungen für ihre Produktionsvernetzung implementiert haben und die diese Lösung nun auch anderen KMU als Service zur Verfügung stellen:

- „In der Maschinenfabrik Reinhausen in Regensburg ist Industrie 4.0 bereits Realität. Jürgen Hofmann hat es möglich gemacht. Der Ingenieur kann die Aufregung um Industrie 4.0 nicht so ganz verstehen. „Wir arbeiten seit vielen Jahren an einer intelligenten Vernetzung der zerspanenden Fertigung“, sagt er. Seine Umsetzung von Industrie 4.0 hat die Art, wie in der Maschinenfabrik Reinhausen produziert wird, grundlegend verbessert. Eine Datendrehscheibe erfasst alle Daten aus der Fertigung in Echtzeit und beherrscht die Direktkommunikation mit den Maschinen. Kommt ein neuer Auftrag rein, fragt das System erst mal bei den Maschinen nach, ob diese das passende Werkzeug und die nötige Software an Bord haben. „[...] das geschieht ohne spürbare Verzögerung im Fertigungsprozess“, betont Hofmann. „Die Folge: Die Maschinenfabrik Reinhausen kann wesentlich schneller fertigen und umfassender auf Sonderwünsche der Kunden eingehen“ (Schrein 2014).
- Das Unternehmen MSR Technologies aus dem schwäbischen Laupheim hat Transparenz über die gesamte Produktion erreicht. Alle Daten über die einzelnen Betriebszustände der Maschinen werden nahezu in Echtzeit erfasst. Die Informationen werden per WLAN gemeldet und lassen sich auswerten. Der Leitstand hat so jederzeit Einblick in die Produktionsdaten von über 150 Maschinen. Störungen kann der Hersteller damit rascher beheben. Zugleich profitiert das Unternehmen von einem optimierten Produktionsplan mit weniger Stillstandzeiten. Änderungswünsche lassen sich so noch während der Fertigung berücksichtigen. Die Folge: weniger Ausschuss sowie ein geringerer Material- und Energieverbrauch. „Mittelständler sind nur mit solchen Erfolgsgeschichten zu überzeugen“, sagt Gruber, Geschäftsführer des Softwarespezialisten Forcam, eines mittelständischen Industrie-4.0-Integrators aus Ravensburg (Semmann 2015).

In der deutschen KMU-Landschaft scheinen solche, IT-affinen Produktionsbetriebe heute allerdings noch die Ausnahme. Verschiedene Befragungen zeigen ein gewisses Desinteresse der kleinen und mittleren Unternehmen am Thema Informatisierung der Produktion. So gaben z. B. stattliche 42 Prozent der Unternehmen mit einem Umsatz zwischen 50 und 125 Millionen Euro bei einer GfK-Befragung im Auftrag der DZ-Bank 2014 an, dass die Digitalisierung in ihrer Geschäftsstrategie keine Rolle spielt. Als Gründe werden dabei eine zu hohe Abhängigkeit von der technischen Infrastruktur, zu viel Transparenz im Wettbewerb und ein möglicher Verlust der Datensicherheit genannt (DZ-Bank 2014, Dierig 2015).

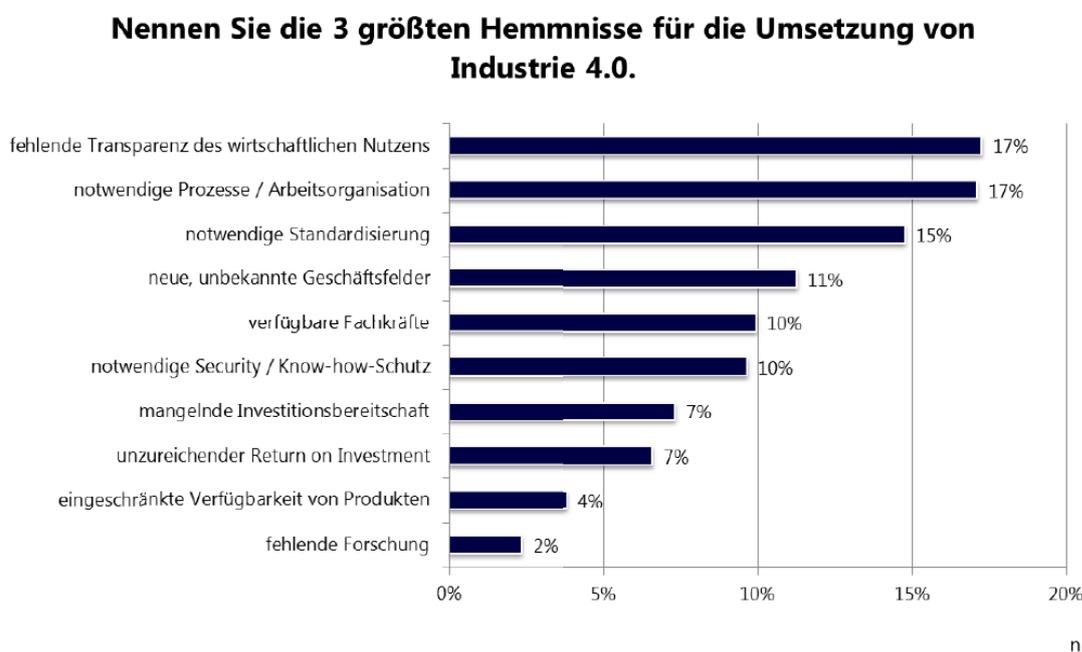
Interessanterweise wird auch in den USA die IT-gesteuerte Produktion nicht von allen als wichtig eingeschätzt: Laut einer PwC-Befragung im Auftrag des US-Manufacturing Instituts (zitiert in Weiss 2015) hinken die US-Produktionsbetriebe beim Einsatz von Sensoren in der Produktion und bei der Verwendung des Internet-Protokolls hinterher. Insgesamt bewerten dieser Umfrage zufolge nur 34 Prozent der US-Produktionsbetriebe das Thema Vernetzung und IT-basierte Steuerung der Produktion als wichtig, 6 Prozent sagten sogar, dass diese Themen für sie überhaupt nicht wichtig seien.

In einer Umfrage des Beratungsunternehmens MHP zum Thema Barrieren für Industrie 4.0. wurden nachfolgende Gründe für die Zurückhaltung der kleinen und mittleren Unternehmen angegeben (Abbildung 5-5).

Interessant ist ein Vergleich mit den oben diskutierten Hemmnissen der KMU bei der Nutzung der Robotik (Abbildung 3-22). Hemmnisse wie „geringe Fertigungsgröße“, „keine automatisierbaren Prozesse“, „Roboter zu teuer“ oder „Kein Personal für Roboterbedienung“, „Programmierung zu zeitaufwendig“ dürften in ähnlicher Weise auch auf die Einführung der speziellen Form der Automatisierung bei Industrie 4.0 zutreffen.

Die abwartende Haltung, bzw. die Überzeugung der Mittelständler, dass eine umfassende Vernetzung nach dem Industrie-4.0-Konzept für ihr eigenes Unternehmen keinen wirtschaftlichen Nutzen bringt, kann unterschiedliche Gründe haben (die Kelkar et al. nicht thematisieren). Die plausibelste Erklärung für die Skepsis der KMU ist, dass sie den aktuellen Informationsgrad für ausreichend halten und sie der Meinung sind, dass die Einführung einer vollständig vernetzten und durchgängig automatisierten Produktion sie möglicherweise überfordern würde. Dafür sprechen auch die hohen Werte bei „notwendige Prozesse/Arbeitsorganisation“ und „notwendige Standardisierung“ als Barrieren für die Umsetzung von Industrie 4.0.

Abbildung 5-5: Hemmnisse für die Umsetzung von Industrie 4.0 bei KMU



Quelle: Kelkar et al. 2014, S. 25

Gespräche mit einigen IHK haben gezeigt, dass sich schon jetzt viele KMU mit Fragen der Digitalisierung der Produktion befassen und diese auch umgesetzt haben. Sie stützen sich dabei z. T. auf die Beratung der IHK, vor allem aber auf die von IT-Anbietern. Letztlich geht es darum, ob sie umfassende Konzepte, wie sie hinter Industrie 4.0 stehen, benötigen oder nur Teilelemente. Insofern gibt es auch in Deutschland einen Prozess des „learning by doing“ ähnlich wie in den USA.

Die Vermutung liegt nahe, dass die KMU die Situation anders einschätzen würden, wenn man sie nach Umsetzungschancen auf einem niedrigeren Niveau befragen würde.

Für KMU ist die fachliche Beratung durch IT-Anbieter ein zentrales Element. Vor diesem Hintergrund ist der Kompetenzatlas ein bemerkenswerter Ansatz, in dem das Land Baden-Württemberg IT-Anbieter im Kontext Industrie 4.0 für KMU zusammengestellt hat.²⁸ Hierbei ist zu berücksichtigen, dass hinter dem „Paket“ Industrie 4.0 eine Vielzahl von Technologien steht, wie sie z. B. Agiplan et al. (2015) in einer speziellen Studie für den Mittelstand identifiziert haben (Abbildung 5-6). Es ist davon auszugehen,

²⁸ <http://mfw.baden-wuerttemberg.de/de/mensch-wirtschaft/industrie-und-innovation/schlueseltechnologien/industrie-40/kompetenzatlas-industrie-40/>

dass jedes Unternehmen für seine spezielle Situation nur einzelne Technologien sinnvoll einsetzen kann. Hier besteht ein großer Bedarf an kompetenter Beratung. Denn nicht jeder IT-Dienstleister wird alle Technologien beherrschen und entscheiden können, welche davon für das jeweilige Unternehmen vorteilhaft sind.

Abbildung 5-6: Technologiefelder und zugehörige Technologien im Kontext Industrie 4.0



Quelle: Agiplan et al. (2015, S. 18)

Vor diesem Hintergrund könnten folgende Empfehlungen formuliert werden:

5.2.5 Unsere Empfehlungen

- Nicht für alle Produktionsbetriebe ist ein durchgängiges, integriertes Industrie 4.0-Konzept geeignet. Vielmehr erscheint es notwendig zu differenzieren und abgestufte Umsetzungen zu ermöglichen. Für manche Unternehmen reichen schon bessere Informationen über Verschleißzustände an Maschinen (vgl. Müller, B. 2015) oder IT-Lösungen zur Fernwartung von Anlagen und Maschinen, partielle Verknüpfungen von kaufmännischen mit produktionsnahen Systemen oder schlicht modernere Automatisierungslösungen aus.
- IT-Know-how in der Produktion bei den Mitarbeitern verbessern: Nur wer sich mit Produktion und IT auskennt, kann die Potenziale erkennen. Insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen ist noch zu wenig IT-Know-how vorhanden, zum einen weil sie es sich im Unterschied zu großen Unternehmen nicht leisten können, IT-Personal dauerhaft einzustellen und zum anderen, weil geeignetes Personal möglicherweise nicht so zur Verfügung steht, wie es erforderlich wäre (bzw. bei großen Unternehmen besser bezahlt wird).
- Anhand von Beispielanwendungen, Best-Practice-Darstellungen und Pilotanlagen können KMU Anregungen für eigene Industrie-4.0-Aktivitäten erhalten. Es sollten entsprechende branchenspezifische Aktivitäten und Kommunikationsmaßnahmen vorgesehen werden, die den KMU den Zugang zu diesen Best Practices ermöglichen bzw. erleichtern.

Während die letztgenannte Empfehlung in vielen Positionspapieren und Studien auftaucht (allerdings scheinen es aktuell nur die Industrie- und Handelskammern vor Ort zu sein, die die Vermittlung konkreter Beispiele engagiert betreiben), gibt es zu den beiden ersten Empfehlungen auf den ersten Blick keine Entsprechungen in den Verlautbarungen von Verbänden und Politik. Ob dies tatsächlich so ist, bzw. welche Empfehlungen im Hinblick auf die Umsetzung von Industrie 4.0 von Verbänden (BITKOM, VDMA, ZVEI) und Politik (BMW, BMBF) gegeben werden, wird im nächsten Abschnitt untersucht.

5.3 Die Position der Verbände

Um künftige Regulierungsbedarfe für die Produktion der Zukunft zu identifizieren, war ursprünglich angedacht, Zukunftsstudien und Visionen als Quellen heranzuziehen. Dieser Ansatz hat sich als nicht praktikabel erwiesen. Denn zur Zukunft der Produktion existieren entweder Studien, die sich mit den Chancen und potenziellen Anwendungsfeldern von Industrie 4.0 beschäftigen und die die *heutigen* Herausforderungen für die Umsetzung einer vernetzten und integrierten Produktion benennen (z. B. Kagermann 2013, BMBF 2013, Fraunhofer IPA 2013), oder aber Zukunftsbilder mit einem weiten

Zeithorizont, in denen die integrierte Produktion überall Wirklichkeit geworden ist und bei der 3D-Drucker eine große Rolle spielen (Pease 2014a, Pease 2014b, Nikolaus 2014). Diese Szenarien werden hauptsächlich von den technischen Möglichkeiten bestimmt. Regulierungsrelevante Hinweise fehlen dort ganz.

Deshalb sollen in Abweichung vom ursprünglichen Arbeitsplan in diesem Abschnitt die Empfehlungen der Verbände im Hinblick auf Industrie 4.0 überblicksartig dargestellt und daraufhin untersucht werden, wo sie sich mit einem modularisierten Industrie-4.0-Konzept beschäftigen und was sie zum Thema Erhöhung der IT-Kompetenz in KMU vorschlagen (siehe vorangegangenen Abschnitt).

5.3.1 BITKOM

Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM) ist ein wichtiger Akteur in der deutschen Industrie-4.0-Debatte. Das Thema wird im Rahmen vielfältiger Verbandsaktivitäten bearbeitet, unter anderem wurden drei Arbeitskreise eingerichtet, die sich mit Cyber-Physical Systems, den Markt- und Strategieaspekten von Industrie sowie mit Fragen der Interoperabilität im Kontext von Industrie 4.0 beschäftigen.

Das zentrale BITKOM-Dokument mit Empfehlungen und Forderungen an die Politik ist das Positionspapier „Politische Handlungsempfehlungen: Industrie 4.0 – Deutschland als Vorreiter der digitalisierten Vernetzung von Produkten und Produktionsprozessen“ (BITKOM 2015), das auf den aktuellen Webseiten des Verbandes zu finden ist. Grundlage für die Empfehlungen ist unter anderem die Studie „Wirtschaft Digitalisiert“, die der Verband bei IW Consult Köln in Auftrag gegeben hat (BITKOM und IW Consult 2013) und die Studie des Fraunhofer IAO „Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland“ (Fraunhofer IAO 2014).

Im aktuellen BITKOM-Positionspapier zu Industrie 4.0 werden sieben Handlungsfelder identifiziert, in denen ein gemeinsames strategisches Handeln von Politik und Wirtschaft als erforderlich angesehen wird:

1. Hochleistungsfähiges Internet
2. Moderner und international anschlussfähiger Ordnungsrahmen
3. IT-Sicherheit und Datenschutz
4. Aus- und Weiterbildung für Fachkräfte
5. Kompetenzzentren mit Forschungsbeteiligung, Leuchttürme und Pilotprojekte
6. Deutsche Positionen in internationalen Normungsgremien
7. Innovative Start-ups und Wachstumsfinanzierung (BITKOM 2015)

Insbesondere Empfehlung Nr. 4 ist in unserem Kontext interessant. Im entsprechenden Abschnitt wird zwar festgestellt, dass die „rigide Trennung von Produktionstechnologie einerseits sowie IT-Systemen und -Dienstleistungen andererseits“ aufgehoben werden muss, die Forderung wird allerdings dadurch relativiert, dass anschließend aufgezählt wird, welche Ansätze es schon gibt, IT-Kompetenz mit Produktionswissen zu verbinden. Der vollständige Abschnitt unter der Überschrift „4. Aus- und Weiterbildung für Fachkräfte“ lautet:

„Industrie 4.0 wird zu einer zunehmenden wechselseitigen Durchdringung von IT und Ingenieurwissenschaften führen. Das gilt ebenso für die Vernetzung der Systeme, was zu einer höheren Komplexität führt. Eine rigide Trennung von Produktionstechnologie einerseits sowie IT-Systemen und -Dienstleistungen andererseits ist damit kaum noch möglich.

Die IT-Wirtschaft in Deutschland weist seit längerer Zeit enge Bezüge zu Anwenderbranchen auf. Diese Ansätze sind zu nutzen, um durch Aus- und Weiterbildung Wachstumspotenziale von Industrie 4.0 zu fördern. Es ist deutlich geworden, dass durch Industrie 4.0 Weiterbildungsbedarf entsteht, sich neue interdisziplinäre Ausbildungsprofile abzeichnen und mittelfristig auch etablieren werden. Unter den derzeit gültigen Ausbildungsprofilen ist der Produktionstechnologe als gutes Beispiel zu nennen: IT-Spezialisten aus IT-Systemhäusern, die sich auf Kunden aus dem Bereich der Industrieproduktion fokussieren, grundlegende Zusammenhänge der Produktionslogistik und Produktionsabläufe beherrschen und somit passgenaue Lösungen anbieten können. Ausgebildete Fachkräfte wie z. B. Fachinformatiker können Industrie-4.0-Kompetenzen im Rahmen der Weiterbildung erwerben. Es muss über neue Ausbildungsmodelle nachgedacht werden, da die notwendige Gesamtkompetenz auch in Zukunft vermutlich nicht in einer Person vereint werden kann. Produktionstechnologen mit IT-Kompetenz werden mit Informatikern mit Produktionskompetenz zusammenarbeiten. Die dazu notwendigen Schnittstellenkompetenzen und deren Identifikation stellen eine wesentliche Herausforderung für die Ausbildung dar. Grundlegende Zusammenhänge einer digitalen Welt müssen bereits in der Schule vermittelt werden“ (BITKOM 2015).

Daraus leitet BITKOM folgende konkreten Forderungen ab:

- „An den Hochschulen: Einrichtung bzw. Ausbau von Hybridstudiengängen im Bereich der „Produktionsinformatik“, die in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft auf praxisorientierte Weise Produktionstechnologien mit ITK-Technologien kombinieren.
- Auf Bundesebene: Durchführung einer Berufsfeldanalyse durch das Bundesinstitut für Berufsbildung hinsichtlich neuer Schnittmengen zwischen IKT-

Berufen und klassischen Produktionsberufen, insbesondere aus der Metall- und Elektroindustrie, aber auch bei Dienstleistungsberufen.

- Auf Länderebene: Berücksichtigung des Themas „Digital vernetzte Welt“ in den Curriculae aller allgemeinbildenden Schulen“ (BITKOM 2015).

Im BITKOM-Positionspapier finden sich keine Hinweise auf spezielle Vernetzungsbedürfnisse von kleinen und mittelständischen Unternehmen (modulares Industrie-4.0-Konzept). Allerdings wird in Abschnitt 5 unter der Überschrift „Kompetenzzentren mit Forschungsbeteiligung, Leuchttürme und Pilotprojekte“ darauf hingewiesen, dass KMU aus finanziellen Gründen nicht die Treiber bei Industrie 4.0 sein können. Der entsprechende Abschnitt lautet:

„Deutschland wird nur dann im Bereich Industrie 4.0 dauerhaft erfolgreich werden, wenn es gelingt, den starken deutschen Mittelstand zu sensibilisieren und einzubinden. Hier helfen marktnahe Leuchtturmprojekte und industrielle Kompetenzzentren, um den Nutzen von Industrie 4.0 anhand konkreter Projekterfolge sichtbar werden zu lassen.

Auch lassen sich so viel klarer Fragen der technologischen Weiterentwicklung, Geschäftsmodelle und Standardisierung formulieren. Bei der Förderung von Leuchttürmen ist zu berücksichtigen, dass diese aufgrund der hohen Initialinvestitionen häufig die Finanzstärke von KMU unter den heute gegebenen Förderbedingungen überfordern. Daher müssen also entweder deutlich erhöhte Förderquoten insbesondere im Bereich der Investitionen in (digitale) Infrastrukturen eingeführt werden oder es muss eine Neuorientierung hin zu Großunternehmen als Träger von Pilotanwendungen erfolgen, damit das finanzielle Risiko der Initialinvestitionen getragen werden kann“ (BITKOM 2015).

5.3.2 ZVEI

Der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) hat bereits im Jahr 2013 einen so genannten „Führungskreis Industrie 4.0 im ZVEI“ gegründet. Ziel der Arbeit des Forschungskreises ist, den Forschungsbedarf festzustellen und die notwendigen Standards für Industrie-4.0-Anwendungen aus Sicht der Elektroindustrie mitzugestalten und voranzutreiben. Wesentliche Teile der in Abschnitt 1 beschriebenen Referenzarchitektur RAMI 4.0 stammen aus der Arbeit dieses Kreises im ZVEI.

Das relevante Positionspapier des ZVEI zum Thema Industrie 4.0 stammt von August 2014 und ist unter dem Titel „Diskussionspapier Digitale Agenda“ auf den Webseiten des Verbandes zu finden (ZVEI 2014). Da der ZVEI in der Verbändeplattform Industrie 4.0 stark engagiert war, können – ähnlich wie bei BITKOM und VDMA – die Forde-

rungen, die im Kontext der Verbändeplattform entstanden sind, ebenfalls als Positionen des ZVEI genannt werden (siehe unten).

Auf den Seiten 18 bis 20 werden im ZVEI-Diskussionspapier zur digitalen Agenda sechs Forderungen mit unterschiedlichem Konkretisierungsgrad zum Thema Industrie 4.0 formuliert:

1. Vernetzung (Breitbandausbau)
2. Einheitliche Semantik für die Vernetzung von Produkten aus unterschiedlichen Branchen
3. Sicherheit (Schutz vor Industriespionage und Sabotage)
4. Rechtliche Rahmenbedingungen (allgemein)
5. Forschung und Entwicklung (Stärkere Betrachtung von Querschnittsthemen)
6. Zukunft der Arbeit
7. Internationale Positionierung (Stärkung des europäischen Binnenmarkts) (ZVEI 2014, S. 18-20)

Im offiziellen Positionspapier des ZVEI finden sich keine Hinweise auf ein modulares Industrie-4.0-Konzept und auch die Frage nach Ausbildungsprofilen oder IT-Kenntnissen bei mittelständischen Produktionsbetrieben werden nicht thematisiert. Stattdessen wird ausdrücklich auf die Notwendigkeit einer einheitlichen Semantik für Industrie 4.0 hingewiesen. Dies ist der einzige Punkt, der sehr konkret und spezifisch ausgeführt wird. Der entsprechende Abschnitt unter der Überschrift „Einheitliche Semantik“ lautet:

„Ein wesentliches Merkmal von Industrie 4.0 ist die Vernetzung von Produkten aus unterschiedlichen Branchen, so z. B. aus dem Maschinenbau, der Elektronik und der Informationstechnik. Voraussetzung hierfür ist eine gemeinsame Sprache, mit der sichergestellt wird, dass solche Objekte stets miteinander kommunizieren, aber insbesondere auch in maschinenverständlicher Art und Weise über sich selbst und ihre Eigenschaften und Fähigkeiten Auskunft geben können. Man spricht hier von einer einheitlichen Semantik. Um bei der Verwirklichung von Industrie 4.0 erfolgreich sein zu können, ist es unerlässlich, eine solche Semantik zu entwickeln. Die Bemühungen, die hierzu bereits in Deutschland unternommen werden, sollten zeitnah durch gezielte Forschungsförderung von der Bundesregierung unterstützt werden“ (ZVEI 2014, S. 19)

Auf den Webseiten des Verbandes wird darauf verwiesen, dass der ZVEI so genannte Use-Case-Workshops organisiert, bei denen ein Erfahrungsaustausch mit den Anwen-

derindustrien stattfindet. Bei diesen Treffen würden „generische Ansätze für die Entwicklung der Industrie-4.0-Technologien diskutiert und im Kontext der jeweiligen Industrie überprüft.“²⁹ Ebenfalls angesprochen werden die Kompetenzen, die in der smarten Fabrik von morgen benötigt werden. Die Position bleibt dazu allerdings eher unspezifisch: „Vernetzung beginnt in den Köpfen der Menschen. IT-Kompetenz ist dabei ebenso entscheidend wie die Fähigkeit, industrielle Prozesse zu formen und in digitale Systeme zu übertragen“ (ebenda).

Interessant im Kontext mit der Forderung, den Datenschutz entsprechend der Anforderungen von Industrie 4.0 anzupassen ist die Äußerung von Klaus Mittelbach, dem Vorsitzenden der Geschäftsführung des ZVEI. In einem Interview forderte er, Datenvielfalt zu ermöglichen. Der aktuelle Ansatz im Datenschutz zielt auf Datensparsamkeit, was er kritisiert: „Ohne dass wir die Datenschutzregeln aufweichen wollen, müssen wir ein Regelwerk finden, das von dieser Sparsamkeit weg hin zu einer Datenvielfalt geht. Der Schutz der Personenrechte hat dabei Vorrang“ (Mittelbach 2015).

5.3.3 VDMA

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) vertritt in der Plattform Industrie 4.0 die Interessen der überwiegend mittelständisch geprägten Produktionsunternehmen und stellt thematisch in gewisser Weise den Gegenpol zur IT-lastigen Mitgliedschaft von BITKOM und (z. T.) des ZVEI dar. Für den VDMA ist das Engagement im Kontext der Plattform Industrie 4.0 nur eine Aktivität unter vielen. Der Verband hat ein so genanntes VDMA-Forum Industrie 4.0 gegründet. In diesem Forum versucht der VDMA, die in der Branche und im Verband vorhandenen Kompetenzen zu bündeln, eine Plattform für die Zusammenarbeit und den Informationsaustausch zu schaffen und Anwender und Anbieter unter den VDMA-Mitgliedsunternehmen zu vernetzen, um den Wandel hin zur Smart Factory zu gestalten.³⁰

Im Kontext von Industrie 4.0 listet der VDMA fünf „Handlungsfelder“ auf:

1. Forschung
2. Standardisierung
3. IT-Sicherheit
4. Mensch & Arbeit
5. Geschäftsmodelle an der Schwelle zu Industrie 4.0

29 www.zvei.org/Themen/Industrie40/Seiten/Industrie-4-0-wo-steht-die-Elektroindustrie.aspx

30 Vgl. <http://industrie40.vdma.org/>

Diese fünf Handlungsfelder, die auf der Website des Verbandes genannt und ausgeführt werden, finden ihre Entsprechung im relevanten Positionspapier „Industrie 4.0. Die vierte industrielle Revolution“ (VDMA 2015c). In diesem Positionspapier finden sich keine Hinweise auf ein modulares Industrie-4.0-Konzept, es werden die Vorteile einer umfassend vertikal und horizontal vernetzten Fabrik aufgelistet. Unter der Überschrift „Flexibilität und Resilienz“ findet sich auf S. 5 lediglich folgende Erläuterung: „Die Fabrik der Zukunft kann auf kurzfristige Änderungen und Störungen reagieren, ermöglicht durch transparente Entscheidungen in dezentralen Regelkreisen“ (VDMA 2015c, S.5).

Anders verhält es sich bei einer aktuelleren Studie des VDMA, dem „Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe für den Mittelstand“ (Anderl und Fleischer 2015). Darin zeigt sich deutlich die Erfordernis der Modularisierung im Zusammenhang mit Industrie 4.0. Es wird auf die verschiedenen Teilaspekte hingewiesen, wobei folgende Komponenten- bzw. Produktaufteilung verwendet wird:

- Integration von Sensoren/Aktoren
- Kommunikation/Connectivity
- Funktionalitäten zu Datenspeicherung und Informationsaustausch
- Monitoring
- Produktbezogene IT-Services
- Geschäftsmodelle um das Produkt (Anderl und Fleischer 2015, S. 12)

Im Hinblick auf die Produktionsebenen unterscheidet der VDMA in seinem Leitfaden folgende Bereiche:

- Datenverarbeitung in der Produktion
- Maschine-zu-Maschine Kommunikation (M2M)
- Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion
- IKT-Infrastruktur in der Produktion
- Mensch-Maschine-Schnittstellen
- Effizienz bei kleinen Losgrößen (Anderl und Fleischer 2015, S. 14)

Abbildung 5-7 zeigt den „Werkzeugkasten Industrie 4.0“ genannten Modularisierungsansatz des VDMA im aktuellen Leitfaden für den Mittelstand.

Abbildung 5-7: Der Werkzeugkasten Industrie 4.0 des VDMA für den produzierenden Mittelstand

The image contains two side-by-side charts titled "Werkzeugkasten Industrie 4.0". The left chart is titled "Produkte" and the right chart is titled "Produktion". Both charts have a grid structure with icons and descriptive text in each cell. The "Produkte" chart has six rows: "Integration von Sensoren / Aktoren", "Kommunikation / Connectivity", "Funktionalitäten zu Datenspeicherung und Informationsaustausch", "Monitoring", "Produktbezogene IT-Services", and "Geschäftsmodelle um das Produkt". The "Produktion" chart has six rows: "Datenverarbeitung in der Produktion", "Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M)", "Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion", "IKT-Infrastruktur in der Produktion", "Mensch-Maschine-Schnittstellen", and "Effizienz bei kleinen Losgrößen".

Quelle: Anderl und Fleischer 2015, S. 9

In aktuellen Publikationen geht der VDMA damit konkreter auf die Bedürfnisse des Mittelstandes ein.

Im Hinblick auf das Thema Bildung wird im erwähnten Positionspapier des VDMA (VDMA 2015c) nur ein knappes Statement geliefert: „Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt hin zu mehr selbstständigem Handeln und Verantwortung des Einzelnen. Hinzu kommt ein Plus an Ergonomie. Ausbildung und fachliche Qualifikation sind die Schlüssel zum Erfolg“ (VDMA 2015c, S.5). Auf der entsprechenden VDMA-Website findet sich zum Thema „Mensch & Arbeit“ zwar eine ausführlichere Beschreibung, die allerdings nicht speziell auf IT-Kenntnisse von Maschinenbauern eingeht. Stattdessen finden sich eher allgemeine Aussagen zum notwendigen fachübergreifenden Denken:

„In der Smart Factory sind die Beschäftigten stärker als je zuvor gefragt, Abläufe zu koordinieren, die Kommunikation zu steuern und eigenverantwortliche Entscheidungen zu treffen. Die Tätigkeiten werden sowohl in technologischer als auch organisatorischer Sicht anspruchsvoller, interdisziplinäre Kompetenzen sind verstärkt gefragt. Mit Arbeitskreissitzungen, Veranstaltungen und Handlungsempfehlungen unterstützt der VDMA seine Mitgliedsunternehmen und zeigt Wege auf, die Potenziale und Kompetenzen der Mitarbeiter effizient zu fördern und eine Arbeitsorganisation und -gestaltung zu entwickeln, die den Anforderungen von Industrie 4.0 Rechnung trägt“³¹.

Eine besondere VDMA-Aktivität ist die Organisation von so genannten Lab Tours I40. Diese sind dazu gedacht, Industrie-4.0-Forschungen interessierten Mitgliedsunternehmen konkret zu machen. Exkursionen zu den Innovationsstätten an deutschen Hochschulen sollen den neusten Stand der Technologien veranschaulichen. So wurde z. B. im Mai 2015 eine Exkursion nach München zum Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) angeboten. Die Exponate fokussierten auf das Thema „Der Mensch in Industrie 4.0“. Es wurden Beispiele präsentiert, die veranschaulichen, wie mitarbeiterindividuelle und variantenspezifische Assistenzsysteme sowie Mensch-Maschine-Interfaces die Komplexität in der Produktion beherrschbar machen sollen. Davor wurde im Februar 2015 das Fraunhofer IOSB in Karlsruhe besucht. Die dortigen Demonstratoren fokussierten auf Plug&Play-fähige, dezentral gesteuerte Fördertechnik (Flexförderer und GridSorter).

Interessant in diesem Zusammenhang ist, dass Impulse für die Umsetzung von Industrie 4.0 vor allem von der Forschung erwartet werden. Wie einzelne Unternehmen, und insbesondere KMU mit diesem Thema umgehen, stellt möglicherweise eine Leerstelle in der Industrie-4.0-bezogenen Arbeit des VDMA dar.

5.3.4 Verbände-Plattform Industrie 4.0

Die Verbände-Plattform Industrie 4.0, die im April 2015 ihren Abschlussbericht vorgelegt hat, geht von einer umfassenden, d. h. durchgängigen und medienbruchfreien Vernetzung der gesamten Produktions- und Office-Systeme aus. Der Definitions-Absatz zu Industrie 4.0 befasst sich entsprechend mit der Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen und der Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt den optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten (vgl. BITKOM, VDMA, ZVEI 2015, S. 8).

31 <http://industrie40.vdma.org/article/-/articleview/4258611>

Keine Hinweise finden sich auf spezifische Anforderungen von KMU, die z. B. auf eine schrittweise Einführung von Industrie-4.0-Komponenten zielen. Zwar wird erwähnt, dass es sich bei Industrie 4.0 um einen evolutionären Prozess handelt: „Es bedarf der Weiterentwicklung der vorhandenen Basistechnologien um die Erfahrungen und Besonderheiten der Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette zu erreichen“ (BITKOM, VDMA, ZVEI 2015, S. 9). Allerdings wird gleich im nächsten Satz betont, dass die Umsetzung neuer Geschäftsmodelle über Dienste im Internet einen „disruptiven Charakter“ habe (ebenda). Allenfalls bei der Entwicklung der Datensicherheit, die nie zu Ende sei und immer ein Nachjustieren erfordere, werden evolutionäre Prozesse gesehen (S. 90).

Im Hinblick auf die Modularisierung von Industrie-4.0-Komponenten wird das Desiderat an die Forschung formuliert, „einfach anwendbare und integrierbare, autonom beschriebene Module“ zu liefern (S. 22).

Fachberatung zu Industrie 4.0

Einen interessanten Beitrag zum Thema Modularisierung und KMU-Bedürfnisse liefert die Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln (IW Consult) für die Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft von 2014 (IW Consult und vbw 2014). Darin heißt es, dass insbesondere KMU nicht alle denkbaren Komponenten und Entwicklungen im Rahmen von Industrie 4.0 benötigen würden: „[...] deswegen müssen Module erarbeitet werden, die in kleineren Rahmen funktionsfähig sind“ (S. 20).

Bei den Handlungsempfehlungen wird die besondere Situation der kleinen und mittleren Unternehmen angesprochen:

„Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) können noch nicht in gewünschtem Maße von den initiierten Leuchtturmprojekten der Bundes- und Landesregierungen profitieren. Hier müssen Wege gefunden werden, wie Wissenstransfers stattfinden können und inwieweit KMU ermöglicht werden kann, in Testumgebungen eigene Ideen und Module zu entwickeln. Unternehmen wünschen sich insbesondere bei diesem neuen und komplexen Thema einen Erfahrungsaustausch mit anderen Unternehmen. Neue Wertschöpfungsnetze müssen zwischen global agierenden Großunternehmen und teilweise noch regional agierenden KMU gespannt werden.

Die Grundlagenforschung sollte weiterhin daran arbeiten, ausgereifte Schau- fensterfabriken und damit einhergehend Referenzarchitekturen zu entwickeln, die auch unternehmensübergreifend von KMU genutzt werden können. Der enorme Entwicklungsaufwand, der durch das umfassende Industrie-4.0-Konzept entsteht, kann nicht von KMU allein getragen werden. Dabei sollten stabile Open-Source-Plattformen eine Basis bieten, die die neu entstehenden

vielfältigen Vernetzungen und daraus resultierenden Wechselwirkungen effizient beherrschen und steuern können“ (S. 42).

Bei den Handlungsempfehlungen wird in der Studie auch das Thema Qualifikation der Mitarbeiter angesprochen, allerdings ohne wesentlich über das Konkretisierungsniveau der Empfehlungen der hier untersuchten Quellen hinauszugehen:

„Die Möglichkeit, durch Industrie 4.0 die Flexibilität in der Produktion deutlich zu erhöhen, verlangt ebenfalls eine steigende Einsatzflexibilität der Mitarbeiter und damit zusätzliche Qualifikationsanforderungen. So werden Mitarbeiter in Zukunft vielfältigere Einsatzmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen des Unternehmens erhalten, um der vertikalen Ausrichtung des unternehmensinternen Wertschöpfungsnetzwerkes Rechnung zu tragen. Das bedeutet im Umkehrschluss allerdings auch, dass Tätigkeiten mit einfachem Qualifizierungsprofil seltener werden. Maschinen und Roboter werden zunehmend diese einfachen Tätigkeiten übernehmen. Deshalb spielt die Qualifizierung der Mitarbeiter eine herausragende Rolle für die Akzeptanz von Industrie 4.0“ (S. 41f).

IW Consult spricht damit das besondere Erfordernis an, das Konzept Industrie 4.0 auf die Bedürfnisse von KMU zuzuschneiden. Ähnliche Ansätze finden sich in den erst jüngst erschienenen Studien (Agiplan et al. 2015, Anderl und Fleischer 2015), die weiter oben erwähnt wurden. Diese Erkenntnis ist damit jüngeren Datums und sie setzt sich erst allmählich durch. Dabei ist zu konstatieren, dass auch einige Bundesländer wie Nordrhein-Westfalen, Bayern, Hessen oder Baden-Württemberg in ihren Verlautbarungen auf die besonderen Anforderungen von KMU hinweisen. Innerhalb der Aktivitäten des Bundes greift das Förderprogramm „Mittelstand 4.0 – Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse“³² des BMWi diese Frage auf.

Die Differenzierung der Thematik hat in jedem Fall gezeigt, dass sie komplex ist und gerade in diesem für die meisten KMU fachfremden Bereich eine kompetente Beratung erforderlich ist. Vor diesem Hintergrund erweist sich der vom BITKOM formulierte Bedarf an hybriden Studiengängen als besonders relevant. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Technologie wird es gerade bei KMU kein plötzliches Umschwenken zu einem Gesamtpaket geben. Ein evolutorischer Übergang zu mehr Digitalisierung in der Produktion über einen längeren Zeitraum erscheint dagegen realistischer. Aussagen, die die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen pauschal an eine schnelle Einführung von Industrie 4.0 knüpfen, wie dies vielerorts geschieht (beispielhaft PWC 2014, S. 18: „Nur

³² <http://www.mittelstand-digital.de/DE/Foerderinitiativen/mittelstand-4-0.html>

auf diese Weise bleiben die Unternehmen konkurrenzfähig und verbessern nachhaltig ihre Wettbewerbsfähigkeit“), verleiten zu überhasteten Entscheidungen, während ein sorgfältiges Prüfen der sinnvollen Optionen notwendig erscheint. Es ist auch davon auszugehen, dass sich die mit Industrie 4.0 verknüpfte Technologie ähnlich wie bei der Robotik erheblich weiterentwickeln und sich schon deshalb die Diffusion über einen längeren Zeitraum hinziehen wird.

6 Auswirkungen von Robotik und Automatisierung auf die Arbeitsmärkte

Die ökonomischen Auswirkungen von neuen Technologien auf den Arbeitsmarkt bilden seit langer Zeit ein zentrales Diskussionsthema in den Wirtschaftswissenschaften. Die zunehmende IKT-Durchdringung in der Wirtschaft und der zunehmende diversifizierte Einsatz von Robotik und Automatisierungslösungen haben die Debatte erneut stark entfacht (siehe unter anderem Brynjolfsson und McAfee 2014, Miller und Atkinson 2013, Frey und Osborne 2013, Autor 2014). Wie in früheren Debatten gibt es dabei divergierende Ansichten: Einige Kritiker befürchten durch die verstärkte Übernahme von nicht-routinemäßigen Tätigkeiten durch Robotik und Automatisierung eine neu entstehende technologische Arbeitslosigkeit, oder zumindest dass eine schnellere Substitution von Jobs stattfindet, als andere Stellen entstehen können. Optimistischere Beobachter verweisen auf die Entwicklung der letzten Jahrhunderte, in denen trotz häufiger Befürchtungen eine dauerhafte technologische Arbeitslosigkeit durch neu entstehende Jobs in aufstrebenden Branchen vermieden werden konnte (siehe z. B. Miller und Atkinson 2013). Einigkeit zwischen den verschiedenen Lagern besteht darin, dass sich grundsätzlich Tätigkeiten und qualifikatorische Anforderungen erheblich verändern werden.

Eine zentrale Frage ist deshalb, inwieweit der Einsatz von Robotik in der Automatisierung sich unterschiedlich über die Qualifikations-, Einkommens- oder Berufsgruppen hinweg auswirkt. Im Zuge des zunehmenden Einsatzes von IuK-Technologien haben sich dabei folgende Entwicklungen gezeigt (unter anderem Autor 2014, Autor und Dorn 2013, Frey und Osborne 2013). Zunächst war in dieser Debatte von einem „skilled-bias technological change“ ausgegangen worden (Matthes et al. 2014): Demnach führt ein qualifikationsverzerrter technischer Fortschritt zu einer gleichförmig erhöhenden Arbeitsnachfrage nach hoch qualifizierten Arbeitnehmern gegenüber der Arbeitsnachfrage nach niedrig qualifizierten Arbeitnehmern gleichermaßen über die gesamte Lohnverteilung hinweg (Antonczyk et al. 2010). Diese Hypothese konnte vor allem die Entwicklungen während der 1980er-Jahre gut erklären (siehe bspw. DiNardo et al. 1996, Machin und van Reenen 2007, Dustmann et al. 2009, Fitzenberger 1999). Seit den 1990er-Jahren gibt es jedoch Evidenz für eine Polarisierung der Beschäftigung in verschiedenen Industrieländern (Goos und Manning 2007, Autor et al. 2008, Spitz-Oener 2006, Dustmann et al. 2009): Es zeigt sich ein U-förmiger Verlauf der Beschäftigung über die Lohnverteilung, bei dem sowohl die Beschäftigung von Hochqualifizierten als auch die Beschäftigung von Niedrigqualifizierten relativ zu der Beschäftigung von Personen mit mittlerem Qualifikationsniveau ansteigt (Antonczyk et al. 2010). Als Erklärung für diese Entwicklung wird häufig die so genannte Routinisierungshypothese herangezogen. Demnach hat der technische Fortschritt unterschiedliche Auswirkungen auf verschiede-

ne Berufe (Matthes et al. 2014): Routinetätigkeiten können demnach zunehmend durch programmierbare Maschinen ersetzt werden, während dies bei Nicht-Routinetätigkeiten nicht problemlos möglich ist. Folglich bleibt die Beschäftigungs- und Lohnentwicklung bei durchschnittlich Qualifizierten, die eher Routinetätigkeiten ausüben, hinter der bei den Hoch- und Niedrigqualifizierten zurück.

Eine Fortsetzung dieses Trends, der vor allem der zunehmenden Computerisierung zugesprochen wird, ist durch den verstärkten Einsatz von Robotik- und Automatisierungslösungen denkbar, wenn diese technischer Lösungen vor allem zu einer zunehmenden Ersetzung von Routinetätigkeiten im mittleren Qualifikationssegment führt. Die Analyse dieser Frage steht im Mittelpunkt des folgenden Kapitels. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Messung der Auswirkungen technischen Fortschritts auf den Arbeitsmarkt mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist. Deshalb wird zunächst die Eignung von Datenquellen aus der amtlichen Statistik im Hinblick auf die Datenforderungen für solche Analysen untersucht. Darauf aufbauend wird analysiert, inwieweit Polarisierungen des Arbeitsmarktes als Folge des zunehmenden Einsatzes von Automatisierung und Robotik zu erwarten bzw. bereits beobachtbar sind.

6.1 Messung der Arbeitsmarktwirkungen von Robotik und Automatisierung

Die Messung der Arbeitsmarktwirkungen von technischem Fortschritt, wie z. B. Robotik und Automatisierung, findet auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen statt. Dabei können jeweils verschiedene Aspekte vertieft untersucht werden, die Betrachtungsebenen haben aber auch jeweils ihre Grenzen.

Die Analyse auf **Unternehmensebene** ermöglicht eine direkte Analyse der kurzfristigen Auswirkungen auf Beschäftigung durch den Einsatz neuer Technologien. Allerdings ist die Berücksichtigung möglicher indirekter Effekte (z. B. Arbeitsplatzverluste in Unternehmen, die kaum Robotik/Automatisierung einsetzen und daher an Wettbewerbsfähigkeit verlieren) in der Regel nicht möglich und die Analyse in der Regel auf ausgewählte Wirtschaftssektoren begrenzt.

Die Auswertung von **Arbeitsmarktdaten** ermöglicht je nach Datensatz eine repräsentative Betrachtung der Auswirkungen technischen Wandels und anderen Einflussfaktoren nach Qualifikationsniveau und Art der Tätigkeiten für den gesamten Arbeitsmarkt. Die Hauptproblematik besteht in der Zuordnung der beobachtbaren Effekte auf erklärende Faktoren wie Globalisierung, technologischer Wandel (insbesondere Unterscheidung zwischen Technologien) etc. Um einkommensgruppenspezifische Ergebnisse für die Robotik/Automatisierung analysieren zu können, wird im Folgenden auf Methoden und

Ergebnisse der Arbeitsmarktforschung eingegangen. In der Arbeitsmarktforschung hat in jüngerer Vergangenheit das so genannte „Tasks-Konzept“ (tätigkeitsbasierter Ansatz) erhöhte Aufmerksamkeit erhalten. Der Tasks-Ansatz war vorrangig zur Untersuchung der Arbeitsmarktpolarisierung entwickelt worden, er hat sich mittlerweile aber auch für andere Fragestellungen etabliert (Matthes et al. 2014). Tasks werden dabei als Aufgaben verstanden, die in einer bestimmten beruflichen Tätigkeit erledigt werden (Dengler et al. 2014).³³ Die Tasks werden nun darin unterschieden, inwieweit sie durch technischen Fortschritt ersetzbar oder verlagerungsfähig (Stichwort: Offshoring) sind. Autor, Levy, Murnane (2003), die den Ansatz entscheidend geprägt haben, unterscheiden zwischen vier Typen von Tasks (Autor et al. 2003):

- analytische und interaktive Nicht-Routine-Tasks,
- analytische und interaktive Routine-Tasks,
- manuelle Routine-Tasks,
- manuelle Nicht-Routine-Tasks.

Routine-Tasks sind Tätigkeiten, die von Maschinen nach programmierbaren Regeln ausgeführt werden können, während Nicht-Routine-Tasks lediglich durch Computer unterstützt werden können (Dengler et al. 2014). Routinetätigkeiten sind für viele kognitive und manuelle Jobs mit mittleren Qualifikationsprofilen charakteristisch, wie z. B. verschiedene Bürotätigkeiten (Buchhaltung etc. oder sich wiederholende Produktionstätigkeiten, wie z. B. das Sortieren von verschiedenen Dingen).

In Deutschland hat sich die Interpretation des tätigkeitsbasierten Ansatzes von Spitz-Oener (2006) durchgesetzt. Hier werden die analytischen und interaktiven Tasks bei den Nicht-Routine-Tasks getrennt betrachtet, dies führt zu den fünf folgenden Typen (Quelle: Spitz-Oener (2006), S. 243):

Analytische Nicht-Routine-Tasks:	Forschen, analysieren, evaluieren, planen, konstruieren, designen, entwerfen, Regeln/Vorschriften ausarbeiten, Regeln anwenden und interpretieren
Interaktive Nicht-Routine-Tasks:	Verhandeln, Interessen vertreten, koordinieren, organisieren, lehren oder trainieren, verkaufen, einkaufen, Kunden werben, werben, unterhalten, präsentieren, Personal beschäftigen oder managen

³³ Im Unterschied zu dem Konzept der Qualifikation ist Task/Tätigkeit als eine Einheit von Arbeitsaktivität, die einen Output produziert definiert, während die Qualifikation der Fähigkeit eines Arbeiters entspricht, verschiedene Tasks durchzuführen (Matthes et al. 2014; Acemoglu und Autor 2010).

Kognitive Routine-Tasks:	Kalkulieren, Buchhaltung machen, Texte/Daten korrigieren, Länge/Höhe/Temperatur messen
Manuelle Routine-Tasks:	Maschinen bedienen oder kontrollieren, Maschinen ausstatten
Manuelle Nicht-Routine-Tasks:	Reparieren oder renovieren von Häusern/Wohnungen/Maschinen/Fahrzeugen, restaurieren von Kunst/Denkmälern, Gäste bedienen oder beherbergen

Bei der empirischen Umsetzung des Tasks-Ansatzes gibt es mehrere Möglichkeiten. So kann entweder von Experten festgelegt werden, welche Kenntnisse und Fertigkeiten üblicherweise für die Ausübung einer bestimmten beruflichen Tätigkeit (Beruf) erforderlich ist. Oder es werden Befragungsdaten genutzt, bei denen die Personen nach verschiedenen Tätigkeiten bei ihrer Arbeit gefragt werden. Diese Methoden führen zu Unterschieden in der Messung, da bei den Befragungen der Arbeitsplatz selbst und nicht der Beruf im Fokus steht.

Für Deutschland existieren vergleichsweise viele Ansätze zu Datensammlungen, die eine Tasks-Analyse für die Arbeitsmarktforschung ermöglichen.

BIBB-IAB- bzw. BIBB-BauA-Erwerbstätigenbefragungen

Bei diesen Erwerbstätigenbefragungen (früher Qualifikations- und Berufsverlaufsbefragung) handelt es sich um eine Reihe von repräsentativen Querschnitterhebungen, die ca. alle sechs Jahre durchgeführt werden, bei denen in Deutschland lebende Erwerbstätige unter anderem um detaillierte Informationen zu ihren beruflichen Aktivitäten bei ihrer aktuellen Erwerbstätigkeit gebeten wurden. Auf Basis dieser Erhebung wurden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Tasks-Indizes und der Einfluss auf Beschäftigung und Lohnentwicklung berechnet. Kritisiert wird im Zusammenhang mit dem Tasks-Ansatz, dass die Erwerbstätigenbefragungen ursprünglich nicht für eine Tasks-Operationalisierung vorgesehen waren und die Grundgesamtheit, der Befragungsmodus und der Fragebogen über die Zeit deutlich verändert wurden (vgl. Rohrbach-Schmidt und Tiemann 2013). Daneben erweisen sich die verschiedenen Tasks-Indizes nur als begrenzt robust (vgl. Dengler et al. 2014).

Erwachsenenerhebung des Nationalen Bildungspanels (NEPS)

Matthes et al. (2014) haben in Anlehnung an den TBA eine direkte Tasks-Messung in einer persönlichen, telefonischen Befragung vorgenommen. Dabei wird jede Task-Dimension separat gemessen: Analytische, interaktive und manuelle Tasks sowie Routine-Tasks. Auf Basis der Integration dieses Fragebogenmoduls in die regelmäßig durchgeführte Erwachsenenenerhebung des Nationalen Bildungspanels (NEPS) sollen ab

der 4. Hauptwelle im Jahr 2014 zukünftig Daten erhoben werden, die es ermöglichen den Einfluss im Zeitablauf auf die Tasks-Inhalte einzelner berufliche Tätigkeiten zu analysieren und die Auswirkungen von Tasks auf Löhne oder Erwerbskarrieren im Zeitablauf zu untersuchen. Allerdings sind die Fallzahlen etwas niedriger als bei den zuvor genannten Erwerbstätigenbefragungen.

Mikrozensus

Eine andere Möglichkeit zum Aufbau ist die Verwendung des Mikrozensus bei dem etwa alle 4 Jahre Fragen zu den Tätigkeiten, die Erwerbstätige bei ihrer Arbeit zu erledigen haben, integriert. Dort wird aber nur nach der Haupttätigkeit gefragt, eine valide direkte Operationalisierung von Tasks könnte fehlerbehaftet sein – wenn der Erwerbstätige noch eine Reihe anderer Tätigkeiten, die andere Fähigkeiten erfordern, durchführt. Gemäß Dengler et al. (2014) wurde der Mikrozensus deshalb noch nicht für den Tasks-Approach verwendet.

Operationalisierung anhand der Expertendatenbank BERUFENET

Dengler et al. (2014) haben Task-Profile für Berufe anhand Arbeitsanforderungen die in der Expertendatenbank BERUFENET hinterlegt sind, erstellt; dort werden 3.900 Kernberufen ca. 8000 Arbeitsanforderungen zugeordnet. Diese Task-Profile können aufgrund ihrer Berufszuordnung prinzipiell mit Arbeitsmarktdatensätzen verknüpft werden um die Polarisierung zu untersuchen.

Folglich nimmt die Datenverfügbarkeit in Deutschland zum Tasks-Ansatz zu und kann im Vergleich zu anderen Ländern wie z. B. den USA – hier werden in allen bekannteren Untersuchungen Experteneinschätzungen in einer Datenbank analog zu BERUFENET verwendet – als hoch eingeschätzt.³⁴ Allerdings gibt es neben den bereits genannten Einschränkungen bei einzelnen Datensätzen einige generellere Kritikpunkte am Tasks-Ansatz bzw. dessen operationeller Umsetzung:

- Fernández-Macías und Hurley (2014) kritisieren neben der fehlenden theoretischen Fundierung, dass gerade Personen im mittleren Einkommens-/Qualifikationsbereich von der Arbeitersersetzung betroffen sein sollen, die bisherige Operationalisierung des Ansatzes. So korrelieren die Dimensionen „Routine“ und „kognitiv“ nach ihren Analysen eng miteinander. Daneben nehmen die Untersuchungen, welche „Routine“-Jobs als solche, die von Computer/Robotik ersetzt werden können, operationalisieren

³⁴ Auch Autor (2013) hebt in seinem Überblick zur Anwendung und Datenverfügbarkeit des Task-Ansatzes die Datenverfügbarkeit für Deutschland hierzu hervor, obwohl die skizzierten Erhebungen bzw. Zuordnungen von Dengler et al. (2014) und Matthes et al. (2014) noch gar nicht berücksichtigt sind.

(z. B. Autor et al. 2003; Spitz-Oener 2006), das Ergebnis des routinetätigkeitsbasierten technischen Fortschritts vorweg.

- Ein anderer Punkt ist die Frage, ob diese aufgezeigte Kategorisierung noch direkt geeignet ist, um nach dem Einfluss von Robotik/Automatisierung abzubilden, oder ob auch innerhalb der Jobs mit Nicht-Routine-Tätigkeiten ein erheblicher Grad an Ersetzung menschlicher Arbeitskraft durch eine Maschine denkbar ist und eine modifizierte Unterscheidung von Tätigkeiten notwendig macht (Frey und Osborne 2013).
- Eine generelle erhebliche Problematik bei der Nutzung von Arbeitsmarktdaten für diese Fragestellung – unabhängig, ob Tasks oder Berufe etc. als Unterscheidungsmerkmal verwendet werden – ist die Messung des technischen Fortschritts (bzw. in diesem Fall Robotik und Automatisierung) bzw. kausale Zuschreibung der Effekte zu diesem Faktor. Entweder gilt die Intensität der Routinetätigkeit über eine Indexbildung über die Berufe hinweg selbst als Proxy für den technischen Fortschritt oder es werden Daten zur Verbreitung von Computer (z. B. Autor und Dorn 2014) genutzt. Daneben werden teilweise alternative Erklärungsmuster (z. B. institutionelle Einflüsse, Offshoring) argumentativ oder quantitativ untersucht. Ein entscheidender Faktor, der häufig nur begrenzt empirisch einbezogen wird, können Veränderungen im Arbeitsangebot sein, die abhängig aber auch unabhängig von den Robotik/Automatisierung induzierten Nachfrageänderungen resultieren können.

Zusammenfassend kann bezüglich der Messung der Auswirkungen des technischen Fortschritts auf menschliche Fähigkeiten und Tätigkeiten sowie dazugehörige Effekte auf dem Arbeitsmarkt geschlossen werden, dass gerade in Deutschland die Datenverfügbarkeit eher hoch ist. Allerdings bestehen viele methodische Fragen und Schwierigkeiten, die auch in Zukunft nur begrenzt behebbar sein werden. Von besonderer Relevanz in diesem Zusammenhang sind die begrenzten Möglichkeiten der Ex-post-Zurechnung der Effekte auf konkrete Technologien.

6.2 Arbeitsmarktpolarisierung durch Robotik und Automatisierung

6.2.1 Empirische (Ex-post-)Ergebnisse zur Arbeitsmarktpolarisierung durch technologischen Fortschritt

In jüngerer Vergangenheit wurden verschiedene empirische Untersuchungen zu Arbeitsmarktpolarisierung durchgeführt, die häufig den Tasks-Ansatz anwenden. Dabei kann zwischen zwei Arten der Polarisierung unterschieden werden.

- Zum einen wird die Polarisierung der Beschäftigung untersucht. Hier wird üblicherweise die Entwicklung der Beschäftigungsentwicklung der Berufe oder Tätigkeiten kategorisiert nach den Löhnen im Ausgangsjahr unterschieden, und zwar üblicher-

weise in drei Gruppen, den niedrig bezahlten, durchschnittlich bezahlten und hoch bezahlten Berufen/Tätigkeiten.

- Zum anderen wird die Polarisierung der Löhne untersucht. Hier werden die Lohnentwicklungen im Zeitablauf der genannten Lohngruppen untersucht.

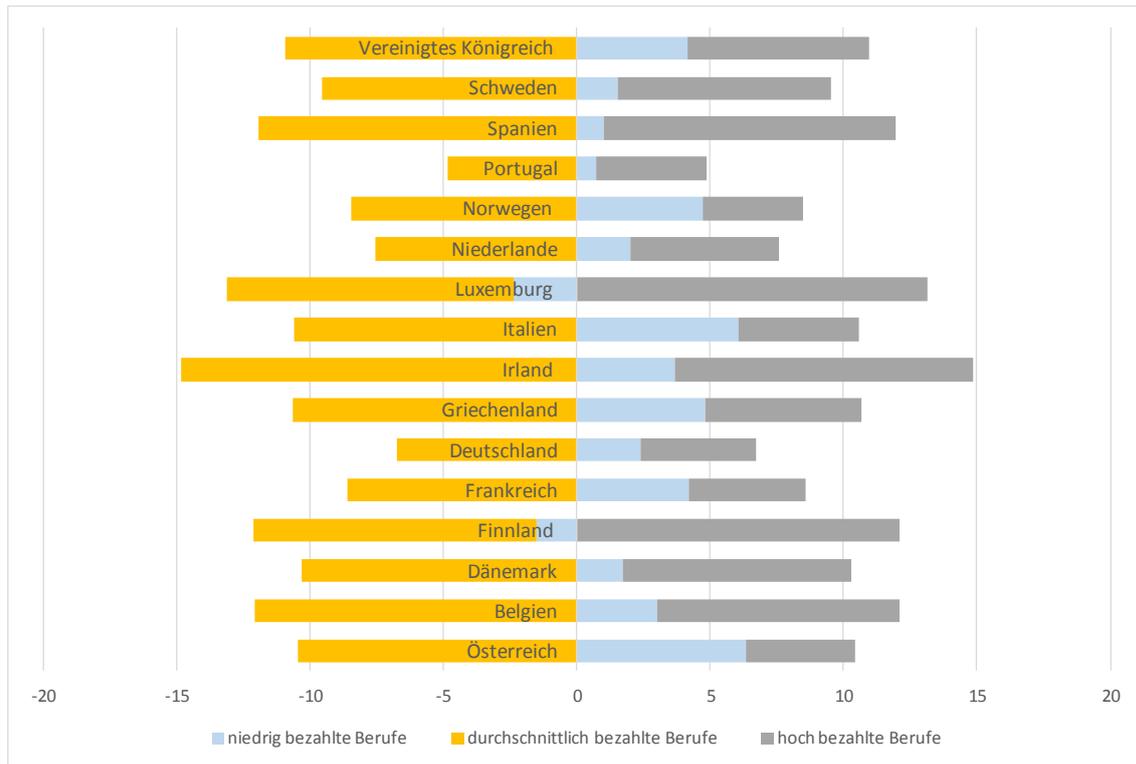
Die Ergebnisse wichtiger Untersuchungen sind in Tabelle 6–1 dargestellt. Es lässt sich tendenziell folgern – wenngleich nicht alle empirischen Untersuchungen zu diesem Schluss kommen – dass seit den 1990er-Jahren zumindest bei der Beschäftigung eine Polarisierung stattgefunden hat. Ein bedeutender Anteil an den Publikationen, die eine hohe Aufmerksamkeit in der Fachwelt erhalten haben, bezieht sich auf den amerikanischen Raum und es findet teilweise eine Diskussion statt, inwieweit der Trend raum- und zeitspezifisch ist. So argumentieren verschiedene Experten, dass die Ergebnisse nur sehr eingeschränkt auf Deutschland übertragbar sind, da aufgrund der unterschiedlichen Ausbildung im mittleren Qualifikationssegment ein stärker komplementärer Einsatz von Robotik und Automatisierungslösungen erfolgt (Möller 2015, Eichhorst und Buhlmann 2015). So wird vermutet, dass Arbeitskräfte in Deutschland mit einem Berufsabschluss in die Lage versetzt werden, auch an komplexeren Aufgabenstellungen in einem Beschäftigungsmodell, das auf diversifizierte und innovative Qualitätsproduktion ausgerichtet ist, mitzuwirken (Eichhorst und Buhlmann 2015).

Allerdings zeigen verschiedene Untersuchungen auch für Deutschland eine Polarisierung der Beschäftigung seit den 1990er-Jahren (Dustmann et al. 2009; Spitz-Oener 2006). Abbildung 6-1 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Beschäftigung von Berufen nach Einkommenssegmenten von Goos et al. (2014). Demnach existiert auch in Deutschland eine Arbeitsmarktpolarisierung, wenngleich schwächer ausgeprägt als in anderen westeuropäischen Ländern.

Allerdings konnte bislang keine Polarisierung der Löhne durch veränderte Tasks für Deutschland nachgewiesen werden (Antonczyk et al. 2009). Insgesamt weisen Untersuchungen darauf hin, dass die Entwicklung von Löhnen komplexer ist und weitere wichtige Einflussfaktoren eine Rolle spielen. So argumentiert beispielsweise Autor (2014) für die ähnliche Entwicklungen in den USA, dass vor allem in dem Segment der manuellen Routinetätigkeiten, in dem viele niedrig qualifizierte Personen arbeiten, trotz Beschäftigungswachstums mehrere Faktoren lohndämpfend wirken: Dazu gehört beispielsweise die häufig preisunelastische Nachfrage bei den dazugehörigen Produkten und Dienstleistungen (z. B. bei Reinigung, Gastronomie, Transport), aber auch Entwicklun-

gen im Arbeitsangebot³⁵ Freigesetzte Arbeitskräfte aus dem mittleren Qualifikationssegment nehmen vermehrt Jobs im Niedrigqualifikationssegment an. Das folglich höhere Arbeitsangebot in diesen Segmenten wirkt lohndämpfend.

Abbildung 6-1: Prozentuale Veränderungen der Beschäftigungsanteile nach Berufsgruppen und Ländern im Zeitraum 1993-2010



³⁵ Daneben ist die Komplementarität des technologischen Fortschritts zu den Kernarbeitstätigkeiten eher gering. In vielen Berufen (z. B. Berufskraftwagenfahrer, Gastronomiebeschäftigte etc.) können Technologien zwar unterstützend wirken (z. B. durch GPS, automatische Datenverarbeitung etc.), aber für die Haupttätigkeiten sind sie nur begrenzt relevant und erhöhen die Produktivität kaum.

Tabelle 6–1: Ergebnisse ausgewählter Studien zur Arbeitsmarktpolarisierung

Autoren	Geographie	Zeitraum	Datenquelle	Messgröße für Polarisierung	Messgröße für TF	Ergebnis
Autor, Levy, Murnane (2003)	USA	1960 bis 1998	Census und CPS Daten	Nachfrageentwicklung nach Tasks	Indirekt: Routine Tasks Intensität	Rückgang der Arbeitsnachfrage nach manuellen und analytischen/interaktiven Routinetätigkeiten
Autor und Dorn (2013)	USA	1980 bis 2005	Census Daten	Beschäftigungs- und Lohnentwicklung nach 318 Berufen und lokalen Arbeitsmärkten unterschieden	Direkt: Computernutzung Indirekt: Routine Tasks Intensität Index	Lokale Arbeitsmärkte mit hohem Anteil an routineintensiven Jobs weisen hohe IT-Adoption und Abbau an routineintensiver Arbeit auf, die zu höherem Arbeitsangebot im Niedriglohn-Dienstleistungsbereich führen => Beschäftigungspolarisierung, keine Lohnpolarisierung
Dustmann et al. (2009)	Deutschland	1975 bis 2001 bzw. 1995 bis 2004	IABS + LIAB	Vergleich der Beschäftigungsentwicklung von 130 Berufen gerankt nach durchschnittlichen Lohneinkommen im Ausgangsjahr und Tasks-Zuordnung	Tests und argumentative Überprüfung unterschiedlicher Entwicklungs- und Erklärungsmuster	Beschäftigung in Berufen im mittleren Einkommensbereich mit Routinetätigkeiten hat sich relativ negativ entwickelt
Spitz-Oener (2006)	Deutschland	1979 bis 1999	Qualifikation und Berufsverlaufbefragung (IAB/BIBB)	Beschäftigungsentwicklung von Berufen nach Einkommensperzentilen im Ausgangsjahr	Computernutzung + indirekt: Routine Tasks Intensität Index	Beschäftigung in Berufen im mittleren Einkommensbereich hat sich relativ negativ entwickelt
Antonczyk et al. 2009	Deutschland	1999 bis 2006	Qualifikation und Berufsverlaufbefragung (IAB/BIBB)+ Erwerbstätigenbefragung	Lohnentwicklung	Indirekt: Routine Tasks Intensität Index	”Task-based Approach” kann den Anstieg der Lohnungleichheit in D nicht erklären

Autoren	Geographie	Zeitraum	Datenquelle	Messgröße für Polarisierung	Messgröße für TF	Ergebnis
Antonczyk et al. 2010	Deutschland, USA	1979 bis 2004	IABS + CPs	Lohn- und Beschäftigungsentwicklung nach Entwicklungen der Lohnungleichheit innerhalb und zwischen Kohorten vollzeiterwerbstätiger Männer, nach Qualifikationsgruppen unterschieden	-	Hinweise für Polarisierung bei Beschäftigungsentwicklung in beiden Ländern, bei Löhnen keine eindeutige Entwicklung in D
Goos et al. (2014)	16 westeuropäische Länder	1993 bis 2010	European Labour Force Survey	Beschäftigungsentwicklung nach Berufen	Indirekt: Routine Tasks Intensität Index	Arbeitsmarktpolarisierung in Europa findet seit Beginn der 1990er-Jahre statt, Hauptursache ist die Ersetzung der durchschnittlich bezahlten Jobs mit hoher Relevanz von Routinetätigkeiten
Goos et al. (2009)	16 westeuropäische Länder	1993 bis 2006	European Labour Force Survey	Beschäftigungsentwicklung von 21 Berufen	Indirekt: Messgrößen für Bedeutung von Routinetätigkeiten etc.	Arbeitsmarktpolarisierung in Europa findet seit Beginn der 1990er-Jahre statt, Hauptursache ist die Ersetzung der durchschnittlich bezahlten Jobs mit hoher Relevanz von Routinetätigkeiten
Fernández-Macías und Hurley (2014)	27 EU-Länder	1995 bis 2013	European Labour Force Survey	Beschäftigungsentwicklung von ca. 1100 (branchenspezifisch unterschiedenen) Berufen in Jobquintilen nach Einkommen je Land	Indirekt: Eng abgegrenzte Indizes für Bedeutung von Routinetätigkeit + kognitiven Anforderungen + institutionelle Variablen	Tendenziell findet Arbeitsmarktpolarisierung statt, Ergebnisse aber sehr stark Länder- und Zeitraum spezifisch, In 1995-2011 Anzeichen einer Arbeitsmarktpolarisierung in D, starke Kehrtwende seit 2011. Bei Erklärungsfaktoren wenig Hinweise auf Polarisierungswirkung der Indizes zu Kognitiven Anforderungen und Routinetätigkeit

6.2.2 Aktuelle Diskussionen über die zukünftigen Arbeitsmarktwirkungen von Robotik und Automatisierung

Angesichts der gewissen Evidenz, dass der technologische Wandel vor allem durch den zunehmenden Einsatz von Computern zu einer Arbeitsmarktpolarisierung bei der Beschäftigung geführt hat, stellt sich die Frage, inwieweit sich dieser durch Fortschritte in der Robotik und Automatisierung fortsetzt. Eine sehr hohe Beachtung hat in dieser Diskussion eine Untersuchung von Frey und Osborne (2013) für den amerikanischen Arbeitsmarkt erlangt. Die Autoren schätzen für verschiedene Berufe die Wahrscheinlichkeiten, mit denen diese in Zukunft durch Robotik, Big Data oder künstliche Intelligenz substituiert werden können. Frey und Osborne (2013) setzen auf den Tasks-Ansatz von ALM auf, sehen aber auch Rationalisierungspotenzial bei den kognitiven Nicht-Routine-Tasks und manuellen Nicht-Routine-Tasks.³⁶

- **Manuelle Nicht-Routine-Tasks:** Der zunehmende Einsatz von einer Vielzahl von leistungsstärkeren Sensoren und Manipulatoren kann den Einsatz in weniger routinebasierten Tätigkeiten ermöglichen, z. B. den Einsatz von Robotik in der Reinigung oder in der Gastronomie. Daneben schätzen Frey und Osborne (2013) die Möglichkeiten der fahrerlosen Autos als sehr groß ein, mit erheblichen Auswirkungen auf die Substitution von menschlichen Arbeitskräften vor allem in der Logistik.
- **Kognitive Nicht-Routine-Tätigkeiten:** Künstliche Intelligenz und Big-Data-Anwendungen (weniger die Robotik) können zu zunehmenden Einsatzmöglichkeiten (z. B. bei Finanz- und Rechtsdienstleistungen) führen. So werden vermehrt einzelne Tätigkeiten bei der Vertragsgestaltung oder dem automatischen Scanning von rechtlichen Schriftsätzen auf Computer übertragen. Daneben soll der stark zunehmende Einsatz von intelligenten Sensoren zur Substitution von Monitoring- und Reparaturtätigkeiten bei der Untersuchung von Defekten bei Maschinen etc. beitragen, aber auch beim Monitoring und der Analyse des Zustands von Patienten im Gesundheitswesen.

Frey und Osborne (2013) schätzen die Wahrscheinlichkeit für 702 Berufe nach amerikanischer Klassifikation, deren aktuelle Tätigkeiten zukünftig komplett oder nicht automatisiert werden kann, indem zunächst in einem Expertenworkshop für 70 Berufe eine manuelle Schätzung erfolgt. Im Anschluss werden über Ähnlichkeitsprofile von Berufen bezüglich Tätigkeiten die Wahrscheinlichkeit auf Basis der Expertendatenbank O*NET errechnet werden. Die Ähnlichkeitsmessung erfolgt anhand der Tätigkeitsmerkmale die nach Frey und Osborne am schwersten automatisiert werden können: Bedarf an kreativer Intelligenz (z. B. Erfindung/Entwicklung von Konzepten, Reimen, Musikkompositionen oder wissenschaftlichen Theoremen), sozialer Intelligenz (z. B. Verhandeln,

36 Einige ähnliche Beispiele werden auch von Ford (2015) und Brynjolfsson und McAfee (2014) genannt.

Überzeugen), Wahrnehmungs- (z. B. zurechtfinden in unstrukturierten Arbeitsumgebungen wie Privathaushalten) und Manipulationstätigkeiten (z. B. Durchführung von Sequenzen von Aktivitäten).

Im Ergebnis befinden sich 47 Prozent der Beschäftigten in den USA im Jahr 2010 in Berufen in der Kategorie mit hohem Risiko; dies sind Berufe die eine Wahrscheinlichkeit der Substitution von über 70 Prozent aufweisen. Hierzu gehören vor allem Büro- und Sekretariatsbereich, Post- und Zustelldienste, Lagerwirtschaft, Verkäufer sowie Hilfskräfte in der Reinigung und Gastronomie. Aber auch sämtliche IT-Operatoren, Busfahrer, Sportschiedsrichter-/funktionäre, Apothekenhelfer, Optiker, Fischer, Kellner sind hier inbegriffen. Dabei besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Qualifikationsabschluss und der Nicht-Ersetzbarkeit. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass keine weitere Polarisierung des Arbeitsmarkts durch die zunehmende Automatisierung entsteht, sondern wieder qualifikationsverzerrter technischer Fortschritt stattfindet, der hoch qualifizierte Arbeitskräfte begünstigt.

Kürzlich erfolgten Übertragungen der Ergebnisse von Frey und Osborne (2013) durch eine Übersetzung der Automatisierungswahrscheinlichkeit der Berufe in den USA direkt auf die entsprechenden Berufe in Deutschland. Nach Bonin et al. (2015) arbeiten derzeit 42 Prozent der Beschäftigten in Deutschland in Berufen mit einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit. Die ING-DiBa kommt mit einer anderen Methodik³⁷ sogar zu dem Schluss, dass 59 Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland ersetzt werden können.

Allerdings sind bei der Interpretation der Ergebnisse basierend auf der Untersuchung von Frey und Osborne (2013) verschiedene Punkte zu beachten:

- Die Autoren räumen selbst ein, dass die technologische Zukunft schwer vorherzusagen ist und Politikmaßnahmen (z. B. Regulierungen) sowie Preisentwicklungen für Arbeit einen erheblichen Einfluss darauf haben wie schnell die Technologien entwickelt werden und diffundieren. Die Autoren konzentrieren sich daher aus ihrer Sicht auf „near term technological breakthroughs“ und legen sich aber gleichzeitig nicht fest, wie lange es dauern wird bis sich diese Technologien verbreiten.
- Daneben wird vom aktuellen Status quo der Anforderungen an die Arbeitstätigkeiten für komplette Berufe ausgegangen und vernachlässigt, dass sich Tätigkeiten der Berufe verändern können (nicht zuletzt durch komplementären Fortschritt durch Robotik) und sich Tätigkeiten von Personen des gleichen Berufes unterscheiden (Autor und Handel 2013, Bonin et al. 2015).

37 In dieser Studie wird nicht zwischen Risikogruppen unterscheiden, sondern die Wahrscheinlichkeit der Ersetzung je Beruf mit den aktuellen dort in Deutschland Beschäftigten Personen multipliziert.

- Die Wahrscheinlichkeitsschätzungen erfolgen rein aus technologischer Perspektive, wirtschaftliche, ethische oder Nachfrageaspekte werden nicht berücksichtigt.
- Es wird auch nicht berücksichtigt, dass gleichzeitig durch neue Produktionsmöglichkeiten und den Einsatz der fortgeschrittenen Technologie Jobs entstehen, die dazu komplementär sind oder solche, für die bisher keine Ressourcen zur Verfügung standen (Eichhorst und Buhlmann 2015).

Einige Autoren setzen vor allem an diesen Kritikpunkten von Frey und Osborne (2013) an und erwarten eine weniger radikale Entwicklung auf dem Arbeitsmarkt (z. B. Autor 2014, Levy und Murnane 2013, Bonin et al. 2015). Dabei werden insbesondere erstens die technologischen Substitutionsmöglichkeiten von einzelnen Tätigkeiten geringer als von Frey und Osborne (2013) eingeschätzt. Nach Autor (2014) haben sich solche Tätigkeiten bisher als am schwierigsten für die Automatisierung erwiesen, die einen hohen Grad an Flexibilität, Urteilskraft und gesundem Menschenverstand (vor allem bei Interaktions- und Kommunikationstätigkeiten) benötigen, da diese Fähigkeiten implizites Wissen benötigen (z. B. Bildung von Hypothesen etc.) (Autor 2014). Demnach sind auch viele niedrig qualifizierte Jobs im Dienstleistungsbereich schwer zu ersetzen, da sie Geschicklichkeit, direkte physische Nähe und flexible persönliche Kommunikation voraussetzen.

Zweitens argumentieren einige Autoren, dass sich durch Maschinen oft nur ein Teil der Tätigkeiten eines Jobs automatisieren lassen. Dies führt häufig zu einer Veränderung wie spezifische Tätigkeiten organisatorisch ausgeführt werden und zu Spezialisierung der Arbeitskräfte, aber es werden nicht komplette Berufe ersetzt. Diese These wird auch durch Ergebnisse von Bonin et al. (2015) unterstützt. Die Autoren übertragen die Automatisierungswahrscheinlichkeiten von Frey und Osborne nicht nur auf Berufe, sondern in einem alternativen Ansatz auch anhand der Tätigkeitsstrukturen am Arbeitsplatz auf Deutschland. Dieses Vorgehen berücksichtigt, dass sich die Tätigkeiten von Beschäftigten einer gleichen Berufsgruppe unterscheiden und die Beschäftigten in den von Frey und Osborne als gefährdet eingestuft Berufen einige Tätigkeiten durchführen, die sehr schwer ersetzbar sind. Im Ergebnis weisen in den USA 9 Prozent und in Deutschland 12 Prozent der Arbeitsplätze Tätigkeitsprofile mit einer relativ hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit auf (Bonin et al. 2015).

Folglich wird von einigen Autoren zumindest mittelfristig eine Fortsetzung des vor allem routinetätigkeitsersetzenden technischen Fortschritts erwartet (z. B. Autor 2014; Levy und Murnane 2013). Langfristig ist aber auch z. B. Autor (2014) optimistisch, dass die Polarisierung stagniert, da sich die Jobs im mittleren Qualifikationsbereich so verändern, dass sie einen Mix aus Tätigkeiten über das Qualifikationsspektrum hinweg erfordern. Dabei ist allerdings die Datenlage gering, welche Fähigkeiten zukünftig stär-

ker benötigt werden. Da in vielen Analysen die Substitution und nicht mögliche Komplementaritäten im Mittelpunkt stehen, ist die Frage nach zukünftig relevanten Fähigkeiten/Tätigkeitsprofilen eher unterbelichtet. In der Regel existieren nur Untersuchungen für einzelne Technologie-/Anwendungsbeispiele (z. B. Maschinenüberwachung), welche Veränderungen der Arbeitsanforderungen durch den technologischen Fortschritt entstehen (z. B. Hackel et al. 2014, Zeller et al. 2010). Diese Studien veranschaulichen, dass sich innerhalb bestimmter Tätigkeiten deutliche Veränderungen bei den Fähigkeitsanforderungen ergeben. Inwieweit dies durch neue Qualifikationen (z. B. in Form neuer Studiengänge oder Ausbildungsberufe) oder stärker veränderte Studien-/Ausbildungsinhalte und Weiterbildungen geschehen sollte, bleibt offen.

6.3 Auswirkungen der Robotik und Automatisierung auf den Dienstleistungssektor

Die in den vorigen Teilkapiteln diskutierten Wirkungen von Robotik und Automatisierung sollen im Folgenden für den Dienstleistungssektor konkretisiert werden. Denn erstens ist der Dienstleistungssektor ein bedeutender potenzieller zukünftiger Einsatzbereich für diese Technologien. Zweitens lassen sich anhand dieses Beispiels den Substitutionseffekten konkret die potenziellen komplementären Auswirkungen gegenüberstellen. Dabei steht weniger die Arbeitsmarktpolarisierung im Vordergrund, die hierzu nicht weiter explizit thematisiert wird. Vielmehr sollen die Arbeitsmarktwirkungen im Dienstleistungssektor durch Robotik und Automatisierung insgesamt betrachtet werden. Daher wird generell auf potenzielle Rationalisierungsmöglichkeiten eingegangen.

Grundsätzliche Relevanz des Dienstleistungssektors und der Dienstleistungsarbeit für Deutschland

Grundsätzlich weist der Dienstleistungssektor eine sehr hohe Relevanz für die Gesamtwirtschaft in Deutschland auf. Aus dem Dienstleistungssektor heraus werden etwa 69 Prozent der Bruttowertschöpfung in Deutschland generiert. Im Vergleich dazu erwirtschaftet der produzierende Sektor etwa 29 Prozent, die Landwirtschaft noch etwa 1 Prozent des Anteils an der deutschen Bruttowertschöpfung (vgl. Statistisches Bundesamt 2014). Im Jahr 2013, fielen von insgesamt 40,4 Millionen Beschäftigten in Deutschland, 29,8 Millionen auf den Dienstleistungssektor (vgl. Edler und Eickelpasch 2013). Davon sind 15,7 Millionen Arbeitsplätze den Unternehmensdienstleistungen zuzurechnen, also Dienstleistungen, die von Unternehmen angeboten und nachgefragt werden. Der Bereich der öffentlichen und der konsumnahen Dienstleistungen beschäftigte im Jahr 2013 etwa 14,1 Millionen Menschen (vgl. Edler und Eickelpasch 2013). Öffentliche Dienstleistungen definieren sich über öffentliche Einrichtungen als Dienst-

leistungserbringer, während konsumnahe Dienstleistungen sich durch den Konsumenten als Nachfrager auszeichnen. Nicht nur aus der Sicht der Bruttowertschöpfung, sondern auch mit Blick auf die Beschäftigtenzahlen, weist der Dienstleistungssektor folglich eine sehr hohe Relevanz für Deutschland auf.

Allerdings ist der Dienstleistungssektor hinsichtlich Wachstum, Wertschöpfung und Beschäftigung sehr heterogen ausgeprägt (vgl. Hartmann 2002). Während öffentliche und konsumnahe Dienstleistungen eher für den Erhalt und den Ausbau der Lebensqualität angesehen werden, gelten Unternehmensdienstleistungen als Treiber für Wachstum und internationale Wettbewerbsfähigkeit (vgl. Hartmann 2002). Die hohe Heterogenität gilt auch für die Dienstleistungsarbeit, die von einfachen Routinetätigkeiten im Niedriglohnsektor, z. B. Frisöre oder Pflegekräfte (vgl. Bosch 2003), bis zu hoch qualifizierten Tätigkeiten im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen, wie Ingenieursdienstleistungen, Forschung und Entwicklung, reicht (vgl. Gotsch 2012). Folglich lassen sich generelle Aussagen zu **der** Dienstleistungsarbeit oder **dem** Dienstleistungssektor kaum treffen. Für eine genauere Betrachtung, inwieweit sich die Robotik und Automatisierung auf den Dienstleistungssektor auswirkt, ist daher nicht nur zwischen Dienstleistungssektoren, sondern auch nach der Art der Tätigkeit, dem Qualifikationsniveau und der Dienstleistungsart zu unterscheiden.

Es bestehen zahlreiche Möglichkeiten zur Abgrenzung und Beschreibung von Dienstleistungen, die in der Literatur je nach Bedarf Verwendung finden. Zur Differenzierung von Dienstleistungen lässt sich beispielsweise die NACE-Klassifikation oder die Einteilung der WZ-Wirtschaftszweige heranziehen (siehe Statistisches Bundesamt 2008b). Da selbst innerhalb der Dienstleistungsteilsektoren starke Unterschiede zwischen Dienstleistungen bestehen, nutzt die einschlägige Literatur auch andere Abgrenzungen, um Dienstleistungen zu gruppieren, wie z. B. nach Funktionen, Kundengruppen, Komplexität oder Interaktionsgrad mit dem Kunden (vgl. z. B. Baumgärtner und Bienzeisler 2007 bzw. Meffert und Bruhn 2003). Eine Vergleichbarkeit der wenigen Studien zu Dienstleistungen in Bezug auf Robotik und Automatisierung wird dadurch stark erschwert bzw. gänzlich unmöglich.

Zudem existiert bislang kaum Literatur, die sich explizit mit den Auswirkungen von Robotik und Automatisierung auf den Dienstleistungssektor beschäftigt. Untersuchungen hierzu kommen meist aus den Arbeitswissenschaften, die keine explizite Betrachtung des Dienstleistungssektors, sondern eher auf Basis von Berufen, Lohn- und Ausbildungsniveau Untersuchungen vornehmen (vgl. auch die vorangegangenen Abschnitte zur Polarisierung der Arbeitsmärkte). Daher erfolgt für diesen Abschnitt eine Zusammenführung aktueller Überlegungen der Dienstleistungsliteratur mit den Erkenntnissen der Arbeitswissenschaften. Aus den beiden Literatursträngen lassen sich, nicht zuletzt

auch aufgrund der hohen Heterogenität des Dienstleistungssektors, zwei grundsätzliche von einander entgegengesetzte Entwicklungen identifizieren. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Zum einen wird in der Literatur davon ausgegangen, dass durch Robotik und Automatisierung die Gefahr einer potenziellen Rationalisierung von Arbeitsplätzen, insbesondere im Niedriglohnsektor, droht (vgl. hierzu auch den vorangegangenen Abschnitt und z. B. Frey und Osborne 2013, Autor und Dorn 2012). Da insbesondere im Dienstleistungssektor häufig gering qualifizierte Arbeitskräfte beschäftigt sind, die so genannte Routinetätigkeiten verrichten, scheint gerade im Dienstleistungssektor die Gefahr einer potenziellen Rationalisierung besonders hoch.
2. Zum anderen zeigt die wissenschaftliche Literatur, dass signifikante Teile des Arbeitsmarktes des Dienstleistungssektors mit der industriellen Produktion verknüpft sind und als Vorleistungen in den sekundären Sektor eingehen (vgl. z. B. Edler und Eickelpasch 2013). Sollte es also zu einer Verbreitung von Robotik und Automatisierung in größerem Umfang kommen, so steigt nicht nur die Wertschöpfung in der industriellen Produktion, sondern auch die der Dienstleistungen die als Vorleistung in die Produktion eingehen. Folglich wäre hierdurch Wachstum und ein Beschäftigungsanstieg zu erwarten.

Dennoch gilt anzumerken, dass es anhand der derzeit bestehenden Literatur nicht möglich ist, sowohl Umfang als auch zeitliche Distanz potenzieller Wirkungen für einzelne Berufe oder gar Dienstleistungssektoren valide abzuschätzen. Von daher sind die beiden angesprochenen Entwicklungen eher als grundsätzliche Wirkungsrichtungen zu verstehen, die sich derzeit aber nicht durch verlässliche Zahlen belegen oder gar durch quantifizierte Auswirkungen abschätzen lassen. Daher erfolgt für die beiden potenziellen Entwicklungen eine Diskussion, inwieweit welche Dienstleistungsbereiche eher positiv oder negativ von Robotik und Automatisierung betroffen sein könnten.

Rationalisierung von Arbeitsplätzen im Dienstleistungssektor

Hinsichtlich der Fragestellung, welche Arbeitsplätze durch Robotik und Automatisierung von Rationalisierung bedroht sind, geht die einschlägige Literatur davon aus, dass insbesondere Tätigkeiten mit hohem Routineanteil und einer geringen Kundeninteraktion gefährdet sind (vgl. Frey und Osborne 2013, Autor und Dorn 2013). Darüber hinaus bestehen aber, wie im vorigen Kapitel dargestellt, große Unterschiede bei den Einschätzungen bezüglich Automatisierbarkeit. Da die Argumentationslinie vor allem von Autor und Dorn (2013) aktuell als plausibler für den Dienstleistungssektor erscheinen, werden die Einschätzungen von Frey und Osborne (2013) im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Wird dieser Argumentation gefolgt, so wären von Rationalisierungen insbesondere einfache, standardisierte Dienstleistungen betroffen. Dieser Dienstleistungstyp zeichnet sich durch eine geringe Komplexität und einen geringen Interaktionsgrad mit dem Kunden aus (zur Typisierung vgl. Baumgärtner und Bienzeisler 2007 bzw. Meffert und Bruhn 2003). Tendenziell werden diese einfachen, standardisierten Dienstleistungen meist den öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungssektoren zugeordnet. Insgesamt sind diesem Bereich in Deutschland 14,1 Millionen Beschäftigte zuzurechnen (vgl. Edler und Eickelpasch 2013). Aber auch hier ist hinsichtlich einer potenziellen Bedrohung durch Rationalisierung zu differenzieren.

Einsatz von Robotik und Automatisierung bei öffentlichen Dienstleistungen

Zum höchst heterogenen Sektor der öffentlichen Dienstleistungen zählen weite Teile des Gesundheits- und Sozialwesens (WZ 2008-Q)³⁸, der Erziehung und des Unterrichts (WZ 2008-P), sowie Kunst, Unterhaltung und Erholung (WZ 2008-R). Hier ist die Spanne hinsichtlich des Tätigkeitsprofils sowie des Ausbildungs- und Lohnniveaus besonders hoch. Bei den öffentlichen Dienstleistungen sind Pflegeberufe, Alten- und Kinderbetreuung aus dem Niedriglohnsektor ebenso vertreten, wie Ärzte, Lehrer oder Richter mit hohem Ausbildungs- und Lohnniveau. So gehören dem Gesundheits- und Sozialwesen z. B. Ärzte in Universitätskliniken und Arztpraxen ebenso an, wie Betreuer und Pfleger in Alten- oder Behindertenheimen. Diese Diskrepanz spiegelt sich in jedem dieser Dienstleistungssektoren wieder.

Insbesondere die Berufsgruppe mit hohem Ausbildungs- und Lohnniveau weist ein sehr komplexes Tätigkeitsprofil mit einem hohen Anteil von interaktiven Nicht-Routine-Tasks (z. B. Ärzte, Lehrer, Richter) auf, wodurch diese Dienstleistungen potenziell weniger von Rationalisierung bedroht sein sollten. Die Berufe aus dem Niedriglohnsektor der öffentlichen Dienstleistungen zeichnen sich zwar durch ein geringeres Ausbildungsniveau, aber dennoch durch eine hohe Interaktion mit dem Kunden aus. Berufe wie Betreuer oder Pfleger sind demnach einem Tätigkeitsprofil zuzuordnen, was am ehesten den manuellen Nicht-Routine-Tasks entspricht. Da laut Literatur, Kunden die Dienstleistungen in Anspruch nehmen, tendenziell mit menschlichen Personen interagieren möchten, lässt sich auch hier davon ausgehen, dass diese Berufe nicht akut von Rationalisierung gefährdet sind. Aus dem gerade beschriebenen Zusammenhang von Routinetätigkeit, manueller Arbeit und Kundeninteraktion lässt sich ableiten, dass im Bereich der öffentlichen Dienstleistungen die eigentlichen Kernprozesse weniger von Rationalisie-

38 Zur Beschreibung der Dienstleistungssektoren wird sich auf die WZ-Klassifikation des Statistischen Bundesamts aus dem Jahr 2008 bezogen. Die Bezeichnungen der Wirtschaftszweige WZ-G bis WZ-T sind dem Dienstleistungssektor zuzurechnen.

nung bedroht sind. Hier ist situatives, kontextbezogenes und kundenorientiertes Verhalten, welches auch auf emotionalen Bedürfnissen basiert, notwendig, welches von Robotik und Automatisierung in absehbarer Zeit nicht geleistet werden kann.

Tätigkeiten aus dem öffentlichen Bereich, die zukünftig von Robotik und Automatisierung übernommen werden könnten, sind somit einfache, administrative Tätigkeiten, welche die eigentlichen Kernprozesse unterstützen und am Laufen halten. Diese sind häufig routinebasiert und durch geringen Kundenkontakt geprägt und somit der Gruppe mit einem Tätigkeitsprofil der manuellen Routine-Tasks zuzuordnen. Diese sind nicht in einem einheitlichen Dienstleistungssektor erfasst, sondern sind eher allen Sektoren quer zuzuordnen. Hierzu gehören Unterstützungstätigkeiten in öffentlichen Einrichtungen wie Rathäusern oder Krankenhäusern ebenso wie Assistenz Tätigkeiten in Arztpraxen oder Anwaltskanzleien. Allerdings zeigt bereits diese Auswahl, dass selbst innerhalb einer Berufsgruppe äußerst heterogene Tätigkeitsprofile existieren können, wodurch sich eine Pauschalierung hinsichtlich Rationalisierungsgefahr weiter erschwert. Zum Anteil administrativer Tätigkeiten im Dienstleistungssektor und inwieweit diese durch Einsatz von Robotik und Automatisierung bedroht sind, liegen jedoch keinerlei explizite Daten aus Veröffentlichungen vor.

Einsatz von Robotik und Automatisierung bei konsumnahen Dienstleistungen

Bei konsumnahen Dienstleistungen zeichnet sich ein etwas anderes Bild ab. Hierzu zählen beispielsweise weite Teile des Gastgewerbes (WZ 2008-I), des Grundstücks- und Wohnungswesens (WZ 2008-L), der Haushaltsdienste (WZ 2008-T) und sonstige Dienstleistungen (WZ 2008-S). Berufe aus diesen Branchen weisen ein Tätigkeitsprofil auf, welches durch ein unterdurchschnittliches Lohn- und Ausbildungsniveau geprägt ist (vgl. KfW/ZEW-Gründungspanel 2009). Hierzu zählen z. B. Frisör- und Kosmetikstudios (sonstige Dienstleistungen), Hotels, Unterkünfte und Restaurants (Gastgewerbe), der Kauf und Verkauf, die Vermietung und Vermittlung von Grundstücken und Gebäuden (Grundstücks- und Wohnungswesen) sowie Dienste für private Haushalte (Haushaltsdienste) (vgl. WZ 2008).

Obwohl diese Berufsbilder ein eher geringes Ausbildungs- und Lohnniveau aufweisen, herrscht gerade bei konsumnahen Dienstleistungen ein sehr hoher Interaktionsgrad mit dem Konsumenten vor. Tätigkeiten, die im Front-Office, also an der Schnittstelle zum Kunden stattfinden, bestehen folglich aus einer Mischung aus interaktiven und manuellen Nicht-Routine-Tasks. Daher kann man davon ausgehen, dass diese Front-Office-Tätigkeiten, in näherer Zukunft weniger von Rationalisierung durch Robotik und Automatisierung bedroht sind. Berufe mit diesem Tätigkeitsprofil werden vermutlich erst dann von Robotern und automatisierten Prozessen ersetzt, wenn beim menschlichen

Kunden die Akzeptanz vorhanden ist, den gewünschten Dienstleistungsprozess maschinell bzw. automatisiert durchführen zu lassen. Als Beispiel lässt sich hier der klassische menschliche Verkäufer in einer Eisdiele versus eine automatisierte Eisanlage, die Bestellungen aufnimmt und eigenständig Eis ausgibt, nennen.

Als weiteres Resultat dieser Überlegungen, sind bei konsumnahen Dienstleistungen eher Tätigkeiten im Back-Office von Rationalisierung gefährdet, da hier keine Interaktion mit dem Kunden stattfindet. Diese Arbeiten weisen häufig manuelle Routine-Tasks auf, die sich grundsätzlich einfacher automatisieren lassen. Zu Teilen sind sie jedoch auch mit kognitiven Tasks versehen, wodurch es in näherer Zukunft in diesem Bereich eher zu Teilautomatisierungen kommen dürfte. Valide Abschätzungen zur Anzahl von Arbeitsplätzen die in diesem Bereich durch Robotik und Automatisierung ersetzt werden könnten, sind aktuell nicht verfügbar.

Produktivitätsfortschritte im Dienstleistungssektor und neue Wertschöpfungspotenziale in der Industrie

Sollte es zu einer signifikanten Verbreitung von Robotik und Automatisierung in Dienstleistungssektoren kommen, würden sich trotz der Gefahr potenzieller Arbeitsplatzrationalisierung dennoch positive Effekte einstellen. Zum Ersten ist davon auszugehen, dass Robotik und Automatisierung Produktivitätsfortschritte erzeugen würden (Eickelpasch und Erber 2015). Insbesondere bei öffentlichen Dienstleistungen, aber auch bei Unternehmens- oder konsumnahen Dienstleistungen, wird durch kontinuierliche Lohnerhöhung der Dienstleistungssektor im Vergleich zu anderen Sektoren immer kostenintensiver (vgl. hierzu auch Baumol 2012; Krämer 2015). Durch die Übernahme einfacher administrativer Tätigkeiten durch Roboter oder automatisierte Prozesse könnten Produktivitätsfortschritte und somit Kostensenkungen erzielt werden.

Zum Zweiten, könnten durch die Nachfrage nach Robotik und Automatisierung aus dem Dienstleistungssektor auch dienstleistungsinduzierte Arbeitsplätze in der Industrie entstehen. Bisher spielt der Dienstleistungssektor als Nachfrager von Industriegütern eine kaum wahrnehmbare Rolle (vgl. Edler und Eickelpasch 2013). Durch eine zusätzliche Nachfrage nach Robotik und Automatisierung von Dienstleistungsunternehmen oder von öffentlichen Einrichtungen, würden sich die Absatzzahlen dieser Technologien weiter erhöhen, wodurch zusätzliche Beschäftigung in der Produktion entstünde. Durch solch einen Rückkopplungseffekt würde die Chance auf eine weitere Verflechtung von Produktion und Dienstleistung bestehen und somit auf zusätzliches Wachstum und Wertschöpfung im produzierenden Sektor, ausgelöst durch die Nachfrage nach Robotern und automatisierten Anlagen aus dem Dienstleistungssektor.

Zusätzlich induzierter Dienstleistungsbedarf aus der Produktionsnachfrage

Im Falle einer signifikanten Verbreitung von Robotik und Automatisierung werden zur Erfüllung der Nachfrage insbesondere im produzierenden Sektor zusätzliche Arbeitsplätze entstehen. Allerdings existiert ein so genannter Vorleistungsverbund an Dienstleistungen, welche als ausgelagerte Wertschöpfungskette bzw. als immaterielle Zulieferindustrie der industriellen Produktion fungiert. Ebenfalls wird durch den Einsatz von Technologien der Bedarf an so genannten Sales- und After-Sales-Dienstleistungen wachsen. Von diesen beiden zusätzlich induzierten Dienstleistungsbedarfen könnten verschiedene Dienstleistungssektoren hinsichtlich Arbeit und Beschäftigung profitieren.

Dienstleistungen als Vorleistungsverbund der Industrie

Bereits Mitte der 2000er-Jahre wies der Vorleistungsverbund der Industrie einen Anteil von 8 Prozent an der Bruttowertschöpfung in Deutschland auf (vgl. Grömling et al. 2007, Institut der Deutschen Wirtschaft 2005). Mittlerweile ist fast jeder vierte Arbeitsplatz aus dem Bereich der Unternehmensdienstleistungen industrieinduziert. Bei 15,7 Millionen Erwerbstätigen bedeutet dies schließlich, dass knapp über 3,5 Millionen Arbeitsplätze aus der Dienstleistungswirtschaft an die Produktion gekoppelt sind (vgl. hierzu Edler und Eickelpasch 2013). Hierzu gehören z. B. Ingenieurs-, Logistik- oder Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen mit hohem Ausbildungs- und Lohnniveau. Im Gegensatz dazu, ist die Industrie als Nachfrager von öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungen von nur sehr geringer Relevanz. Lediglich 320.000 Arbeitsplätze aus diesem Bereich sind in Deutschland von der Industrie abhängig (vgl. Edler und Eickelpasch 2013). Zusätzliches Wachstum und Beschäftigung sind in diesen Dienstleistungssektoren durch Robotik und Automatisierung daher kaum zu erwarten.

Bei dieser hohen Abhängigkeit der Unternehmensdienstleistungen von der Industrie, ist folglich bei einem Anstieg der stark technologiegeprägten Robotik und Automatisierung auch mit einem Anstieg bei den industriegeprägten Dienstleistungssektoren, wie Information und Kommunikation (WZ 2008-J), Finanz- und Versicherungsdienstleistungen (WZ 2008-K) sowie wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen (WZ 2008-M), zu rechnen. Sollte es zu einer signifikanten Verbreitung von Robotik und Automatisierung kommen, wird es folglich, um die Verbreitung der Technologie sowie den technologischen Fortschritt selbst kontinuierlich voranzutreiben, zu einem erhöhten Dienstleistungsbedarf in genau diesen Bereichen kommen.

Zusätzliche Dienstleistungen im Sales- und After-Sales-Bereich

Weiterhin könnten After-Sales-Dienstleistungen von einem verstärkten Einsatz von Robotik und Automatisierung in Dienstleistungssektoren profitieren. Hierzu würden Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sowie die komplette Nachsorge dieser komplexen Technologie im täglichen Einsatz zählen (vgl. Lay et al. 2009). Diese werden zwar auch von Produktherstellern erbracht, die folglich der Industrie zuzurechnen wären, allerdings übernehmen auch häufig Dienstleistungsunternehmen solche Serviceeinsätze. Diese würden dann dem Dienstleistungssektor, insbesondere der Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen (WZ 2008-N) zugerechnet. Folglich könnte auch dieser Dienstleistungsbereich hinsichtlich Beschäftigung von Robotik und Automatisierung profitieren.

Ebenfalls würden die Dienstleistungssektoren Handel (WZ 2008-G) sowie Verkehr und Lagerei (WZ 2008-H) Vorteile durch die Erbringung von Sales Dienstleistungen, also Dienstleistungen während der Verkaufsphase, realisieren. Logistikprozesse, die für die Industrie übernommen werden, sowie der Großhandel, als letztes Glied in der Absatzkette für Güter und Waren, hätten durch Robotik und Automatisierung, durch zusätzliche Distribution und Handel, voraussichtlich eher positive Beschäftigungseffekte zu erwarten.

Somit kann davon ausgegangen werden, dass Unternehmensdienstleistungen bei einer Verbreitung von Robotik und Automatisierung weiter an Bedeutung für die deutsche Wirtschaft gewinnen würden. Hierdurch entstünden zusätzliche Arbeitsplätze, wodurch die Bruttowertschöpfung in diesem Bereich weiter steigen würde. Allerdings würde sich dieser positive Beschäftigungseffekt, aufgrund der geringen Abhängigkeit, nicht für die öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungen einstellen.

6.4 Fazit

- Die existierende Datenbasis in der Arbeitsmarktforschung ist in Deutschland vergleichsweise gut geeignet um die Auswirkungen von Tätigkeiten und Fähigkeiten auf Beschäftigung und Löhne zu messen. Allerdings ist auf dieser Analyseebene die Zurechnung dieser Veränderungen zu konkreten technologischen Fortschritten (wie z. B. in der Robotik) kaum möglich und es bestehen viele methodische Einzelfragen.
- Seit den 1990er-Jahren lässt sich für viele Länder und Zeiträume – so auch in gewissem Maße für Deutschland – eine Arbeitsmarktpolarisierung bei der Beschäftigung zu Lasten des mittleren Qualifikationssegments feststellen. Dabei wird häufig die Routinisierungshypothese zum Einfluss des technischen Fortschritts bestätigt.

- Die Debatte, inwiefern sich eine Arbeitsmarktpolarisierung zukünftig durch den Einfluss von Robotik und Automatisierung fortsetzen wird, wird kontrovers diskutiert. Dabei bestehen insbesondere unterschiedliche Ansichten, welche Tätigkeiten tatsächlich in absehbarer Zukunft ersetzt werden können, und inwiefern eine Ersetzung von Tätigkeiten in Berufe vor allem zu einer Substitution oder stärker zu einer Veränderung des Arbeitsprofils führt.
- Zur Beurteilung dieser Debatte liegen kaum Ex-ante-Betrachtungen vor. Die aktuellen Ergebnisse (Frey und Osborne 2013; ING-DiBa 2015), die einen sehr hohen Anteil an Arbeitsplätzen identifizieren, die automatisiert werden können, sind in ihrer Aussagekraft sehr deutlich beschränkt und die dort geäußerten Befürchtungen als übertrieben anzusehen. Deshalb sollte diese Forschungsfrage durch weitere Untersuchungen ergänzt werden. Zukünftige Betrachtungen auf der Makroebene sollten dabei vor allem stärker wirtschaftliche und ethische Aspekte, zukünftig vorauszusehende Veränderungen der Arbeitsanforderungen der heutigen Arbeitsplätze und Berufe und die Komplementaritäten zwischen neuen Technologien und Tätigkeiten mit einbeziehen. Daneben wären zusätzliche detaillierte Analysen nötig, die für einen breiten Kreis an beruflichen Tätigkeiten die sich verändernden Anforderungen untersucht und Implikationen für die Entwicklung neuer Studien- und Ausbildungsgänge/-inhalte ableitet.

Zur Fragestellung, inwieweit Robotik und Automatisierung sich potenziell auf die Beschäftigung im Dienstleistungssektor auswirkt, lassen sich folgende Kernbotschaften zusammenfassen, die dennoch als Thesen zu verstehen sind:

- *Weitere Beschleunigung des Strukturwandels:* Ein radikaler Wandel bzw. eine sehr starke Rationalisierung von Dienstleistungsarbeit, wie teilweise in der Literatur vorhergesagt, ist auf Basis historischer Daten und für die nähere Zukunft kaum zu erwarten. Vielmehr ist davon auszugehen, dass Robotik und Automatisierung den grundsätzlichen Strukturwandel in Deutschland, zugunsten der Unternehmensdienstleistungen (starkes Wachstum), zu Lasten der öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungen (Stagnation bis leichter Rückgang), weiter vorantreiben bzw. sogar noch beschleunigen.
- *Zusätzliche Dienstleistungsbeschäftigung im Hochlohnsektor:* Bei den beiden zu erwartenden entgegengesetzten Entwicklungen im Dienstleistungssektor, ist derzeit unklar, ob sich die Beschäftigung bei der Zahl der Erwerbstätigen insgesamt kompensiert, zurückgeht oder ansteigt. Durch den Vorleistungsverbund ist jedoch zu erwarten, dass insbesondere der Hochlohnsektor der Dienstleistungen, durch zusätzliche Beschäftigung profitieren könnte.
- *Produktivitätsfortschritte bei öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungen:* Insbesondere bei öffentlichen und konsumnahen Dienstleistungen könnten sich mithilfe von Robotereinsatz und Teilautomatisierungen bei manchen Berufen Produktivitätszuwächse realisieren lassen. Hierdurch könnten Kostensenkungen eintreten, welche die nach oben gerichtete Kostenspirale durchbrechen könnten.

- *Dienstleistungsinduzierte Arbeitsplätze in der Industrie (Rückkopplungseffekt):* Wird Robotik und Automatisierung zukünftig im breiten Umfang im Dienstleistungssektor eingesetzt, besteht die Chance auf eine weitere Verflechtung von Industrie und Dienstleistung. Hierdurch würden bislang nicht vorhandene dienstleistungsinduzierte industrielle Arbeitsplätze entstehen, also zusätzliche Beschäftigung im produzierenden Sektor, die durch die Nachfrage aus Dienstleistungssektoren zustande kommt.

7 Literatur

- Abramson, H.N.; Encarnação, J.; Reid, P.P.; Schmoch, U. (Hrsg.) (1997): *Technology Transfer Systems in the United States and Germany*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Acemoglu, D.; Autor, D. (2010): *Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings*. NBER Working Paper No. 16082.
- Agiplan, Fraunhofer IML, Zenit GmbH (2015): *Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand*. Studie für das BMWI, Mülheim/Ruhr: Zenit.
- Anderl, R.; Fleischer, J. (2015): *Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe für den deutschen Mittelstand*. Frankfurt/M.: VDMA.
- Antonczyk, D.; DeLeire, T.; Fritzenberger, B. (2010): *Polarization and rising wage inequality: comparing the U.S. and Germany*. In: *ZEW DiscussionPapers*, No. 10-015.
- Antonczyk, D.; Fritzenberger, B.; Leuschner, U. (2009): *Can a task-based approach explain the recent changes in the German wage structure?* In: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, S. 214–238.
- Arlbjørn, J.S.; Stegmann, O.M. (2014): *Backshoring manufacturing: Notes on an important but under-researched theme*. In: *Journal of Purchasing and Supply Management* 20 (1), S. 60–62.
- Armbruster, H.; Kirner, E.; Kinkel S. (2006): *Neue Nutzungspotentiale für Industrieroboter*. Ergebnisse einer Betriebsbefragung. In: *wt werkstattstechnik online*, 96. Jg., H. 9, S. 631–636.
- Aubuchon, C.; Bandyopadhyay, S.; Bhaumik, S.K. (2012): *The Extent and Impact of Outsourcing: Evidence from Germany*. In: *Federal Reserve Bank of St. Louis* 94(4), S. 287–304.
- Autor, D.H. (2013): *The „task approach“ to labor markets: an overview*. In: *J Labour Market Research* 46, S. 185–199.
- Autor, D.; H. (2014): *Polanyi’s Paradox and the Shape of Employment Growth*. NBER Working Paper No. 20485.

- Autor, D.H.; Dorn, D. (2013): The Growth of Low Skill Service Jobs and the Polarization of the U.S. Labor Market. In: *American Economic Review* 103(5), S. 1553–97.
- Autor, D.H.; Levy, F.; Murnane, R.J. (2003): The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. In: *Quarterly Journal of Economics*, 118(4).
- Autor, D.; Handel, M. (2013): Putting Tasks to the Test: Human Capital, Job Tasks, and Wages. In: *Journal of Labor Economics* 31(2), S. S59–S96.
- Autor, D.; Katz, L.; Kearney, M. (2008): Trends in U.S. Wage Inequality: Revising the Revisionists. In: *Review of Economics and Statistics* 90(2), S. 300–323.
- Bachmann, R.; Braun, S. (2008): The Impact of International Outsourcing on Labour Market Dynamics in Germany. In: SFB 649 Discussion Paper 2008-020. Online verfügbar unter <http://edoc.hu-berlin.de/series/sfb-649-papers/2008-20/PDF/20.pdf>, zuletzt geprüft am 2. Juli 2015.
- Baumgärtner, M.; Bienzeisler, B. (2007): Dienstleistungsproduktivität – Konzeptionelle Grundlagen am Beispiel interaktiver Dienstleistungen, Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- Baumol, W. (Hrsg.) (2012): The cost disease: why computers get cheaper and health care doesn't. New Haven and London.
- BITKOM (2015): Politische Handlungsempfehlungen: Industrie 4.0 – Deutschland als Vorreiter der digitalisierten Vernetzung von Produkten und Produktionsprozessen. Berlin: BITKOM.
- BITKOM, VDMA, ZVEI (Hrsg.) (2015): Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Berlin, April 2015. www.plattform-i40.de/sites/default/files/150410_Umsetzungsstrategie.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- BITKOM; IW Consult (2013): Wirtschaft Digitalisiert II. Welche Rolle spielt das Internet für die deutsche Industrie und Dienstleister? Berlin; Köln: BITKOM, IW Consult. https://www.bitkom.org/Publikationen/2013/Studien/Wirtschaft-digitalisiert-II/wirtschaft_digitalisiert_ii.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- BMBF (2013): Zukunftsbild „Industrie 4.0“. IT-Referat des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und DLR: Bonn und Berlin, www.bmbf.de/pubRD/Zukunftsbild_Industrie_40.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.

- BMBF (2015): Gemeinsame Plattform Industrie 4.0 startet. Pressemitteilung 044/2015 vom 14. April 2015, www.bmbf.de/press/3773.php, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- BMWi (2009): Volkswirtschaftliche Bedeutung des Dienstleistungssektors. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/dienstleistungswirtschaft,did=239886.html>, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- BMWi (2015): Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Bonin, H.; Gregory, T.; Zierahn, U. (2015): Übertragung der Studie von Frey und Osborne (2013) auf Deutschland. ZEW Forschungsbericht, Kurzexpertise Nr. 57.
- Bosch (2015): Bosch treibt erstes europäisches Innovationsprojekt des Industrial Internet Consortium. Pressemeldung vom 12. Februar, www.bosch-si.com/de/newsroom/news/pressemitteilungen/pressemitteilungen-54528.html, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Bosch, G. (2003): Sind Niedriglöhne der Motor für Dienstleistungen? In: Vierteljahresshefte zur Wirtschaftsforschung 72, 1, S. 36–50.
- Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brecher, C.; Schröter, B.; Almeida, C.; Dai, F.; Matthias, B.; Kock, S. (2004): Intuitiv bedienbare Programmiersysteme zur effizienten Programmierung von Handhabungsaufgaben. In: VDI Robotik 2004. Düsseldorf: VDI Verlag, S. 303–310.
- Broedner, P.; Kinkel, S.; Lay, G. (2009): Productivity effects of outsourcing. In: Int Jnl of Op & Prod Mngemnt 29(2), S. 127–150. DOI: 10.1108/01443570910932020.
- Brynjolfsson, E.; McAfee, A. (Hrsg.) (2014): The Second Machine Age. Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. London: W.W. Norton & Company Ltd.
- Bussiek, J. (Hrsg.) (1996): Anwendungsorientierte Betriebswirtschaftslehre für Klein- und Mittelunternehmen. 2. Auflage. München, Wien: Oldenburg Verlag, 1996.
- Ciupek, Martin (2014): Die große Unbekannte bei Industrie 4.0 heißt Google. In: VDI nachrichten, 25. April 2014, S. 9.

- Credit Suisse (2012): Global Industrial Automation, vom 14. August 2012. In: https://doc.research-and-analytics.csfb.com/docView?language=ENG&source=emfromsend-link&format=PDF&document_id=994715241&extdocid=994715241_1_eng_pdf&serialid=hDabUewpvOqQcRiLxK7rxIQJZZ8TPLDrYHs47S97OOI Prozent3d, zuletzt geprüft am 23. April 2015.
- Dachs, B.; Borowiecki, M.; Kinkel, S.; Schmall, T.C. (2012): The Offshoring of Production Activities in European Manufacturing. Frequency, target regions and motives. AIT-F&PD-Report. Vienna, Austria.
- Dengler, K.; Matthes, B.; Paulus, W. (2014): Berufliche Tasks auf dem deutschen Arbeitsmarkt. FDZ-Methodenreport 12/2014.
- Deyle, T. (20. Januar 2015). *Venture Capital (VC) Funding for Robotics in 2014*. <http://www.hizook.com/blog/2015/01/20/venture-capital-vc-funding-robotics-2014>, zuletzt geprüft am 7. Juli 2015.
- Dierig, Carsten (2015): Die Angst der Firmen vor der vernetzten Fabrik. Vor allem der Mittelstand in Deutschland zögert beim großen Zukunftsthema Industrie 4.0. In: Die Welt, 14. April 2015, <http://www.welt.de/wirtschaft/article139561808/Die-Angst-der-Firmen-vor-der-vernetzten-Fabrik.html>, zuletzt geprüft am 23. April 2015.
- DiNardo, J.E.; Fortin, N.M.; Lemieux, T. (1996): Labor market institutions and the distribution of wages, 1973–1992: a semiparametric approach. In: *Econometrica* 64(5), S. 1001–1044.
- Doh, J.P. (2005): Offshore Outsourcing. Implications for International Business and Strategic Management Theory and Practice. In: *Journal of Management Studies* 42(3), S. 695–704. DOI: 10.1111/j.1467-6486.2005.00515.x.
- Dömötör, R. (2007): Erfolgsfaktoren der Innovativität von kleinen und mittleren Unternehmen. Springer Fachmedien: Wiesbaden.
- Dörn, R.; Dehio, J.; Graskamp, R.; Jannsen-Timmen, R. und Scheuer, M. (2008). Potenziale des Dienstleistungssektors für Wachstum von Bruttowertschöpfung und Beschäftigung. Endbericht zum Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung. Essen: RWI.
- Dustmann, C.; Ludsteck, J.; Schönberg, U. (2009): Revisiting the German wage structure. In: *Quarterly Journal of Economics*, 124(2), S. 809–842.

- DZ-Bank (2014): Digitalisierung – Bedeutung für den Mittelstand. Studie der GfK Enigma im Auftrag der DZ-Bank, https://www.dzbank.de/content/dam/dzbank_de/de/library/presselibrary/pdf_dokumente/DZ_Bank_Digitalisierung_Grafiken.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Edler, D.; Eickelpasch, A. (2013): Die Industrie – ein wichtiger Treiber der Nachfrage nach Dienstleistungen, DIW Wochenbericht Nr. 34, Berlin.
- Eichhorst, W.; Buhlmann, F. (2015). Die Zukunft der Arbeit und der Wandel der Arbeitswelt (No. 77). Institute for the Study of Labor (IZA).
- Eickelpasch, A.; Erber, G. (2015): Produktivitätsmessung von wissensintensiven Dienstleistungen in der amtlichen Statistik. In: Gotsch, M.; Lerch, C. (Hrsg): Messung der Produktivität innovativer und wissensintensiver Dienstleistungen. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Ellram, L.M. (2013): Offshoring, Reshoring and the Manufacturing Location Decision. In: Journal of Supply Chain Management 49(2), S. 3–5.
- Ellram, L.M.; Tate, W.L.; Petersen, K.J. (2013): Offshoring and Reshoring: An Update on the Manufacturing Location Decision. In: Journal of Supply Chain Management 49(2), S. 14–22.
- EU Robotics Forum (2015): Workshop: Hybrid Production Systems, Vienna, Austria, 11. März 2015, unter: http://www.project-leanautomation.eu/fileadmin/Files/LIAA_ERF2015/ERF2015_Hybrid_Production_Systems_2015-03-11_v_1_00.pdf, zuletzt geprüft am 23. Juni 2015.
- Fernández-Macías, E.; Hurley, J. (2014): European Jobs Monitor 2014: Drivers of Recent Job Polarisation and Upgrading in Europe. European Jobs Monitor 2014, Eurofound, Luxembourg.
- Fitzenberger, B. (1999): Wages and Employment Across Skill Groups: An Analysis for West Germany. Heidelberg: Physica/Springer.
- Ford, M. (2015). Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future. Basic Books.
- Fouhy, K; Kellerhoff, P (2015): Die neuen Gestalter von Industrie 4.0. In: VDI nachrichten, 20. März, S. 1.
- Fouhy, Ken (2015): Wo sind für Forscher die Wachstumsfelder der Zukunft? Interview mit Fraunhofer-Präsident Neugebauer. In: VDI nachrichten, 15. Mai. 2015.

- Fratocchia, L.; Di Mauro, C.; Barbieri, P.; Nassimbeni, G.; Zanoni, A. (2014): When manufacturing moves back. Concepts and questions. In: *Journal of Purchasing and Supply Management* 20(1), S. 54–59.
- Fraunhofer IAO (2014): *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*. Berlin; Stuttgart: BITKOM, IAO, www.bitkom.org/files/documents/Studie_Industrie_4.0.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Fraunhofer IOSB (2015): *Offene Standards für die Industrie 4.0. Tools und Angebote rund um AutomationML und OPC UA*. www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/54809/, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Fraunhofer IPA (2006): *Fraunhofer IPA Jahresbericht 2006*, unter: http://www.smerobot.org/08_scientific_papers/papers/Oberer_KMU_IPA_2006.pdf, zuletzt geprüft am 23. Juni 2015.
- Fraunhofer IPA (2009): *Roboter für die Werkstatt*, am 24.09.2009, unter: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2009/09/roboter-fuer-die-werkstatt.html>, zuletzt geprüft am 23. Juni 2015.
- Fraunhofer IPA (2013): *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Herausgegeben von Dieter Spath. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation.
- Fraunhofer-Gesellschaft (2015): *Fraunhofer stellt Eckpunkte-Papier zu Industrial Data Space auf der CeBIT vor*. Pressemeldung vom 16. März, www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2015/Maerz/fraunhofer-eckpunkte-papier-industrial-data-space.html, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Frey, C.; B.; Osborne, M.; A. (Hrsg.) (2013): *The Future of Employment: How susceptible are Jobs to Computerisation?* Published September 2013 by Oxford University Programme on the Impacts of Future Technology.
- Frey, Christian; Heizmann, Michael; Jasperneite, Jürgen; Niggemann, Oliver; Sauer, Olaf; Schleipen, Miriam et al. (2014): *IKT in der Fabrik der Zukunft*. In: *Automatisierungstechnische Praxis* 56.
- Friedrich, T. (2010): *Technologieorientiertes Programmier- und Steuerungssystem für Industrieroboter*. Dissertation, TU Berlin, 2010.
- Frietsch, R.; Schmoch, U. (2010): *Transnational patents and international markets*. In: *Scientometrics* Vol. 82, S. 185–200.

- Frutig, M. (2013): Leichtbau-Roboter sind im Kommen. In: *technica* am 16.07.2013, unter: <http://www.technica-online.ch/artikel/leichtbau-roboter-sind-im-kommen/>, zuletzt geprüft am 23. Juni 2015.
- Giersberg, Georg (2015): 15 Milliarden Euro Umsatz mit Industrie 4.0. In: *FAZ*, 15. April, S. 18.
- Gilley, K. (2000): Making more by doing less. An analysis of outsourcing and its effects on firm performance. In: *Journal of Management* 26(4), S. 763–790. DOI: 10.1016/S0149-2063(00)00055-6.
- Goos, M.; Manning, A. (2007): Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain. In: *Review of Economics and Statistics* 89(1), S. 118–133.
- Goos, M.; Manning, A.; Salomons, A. (2009): Job Polarization in Europe. In: *American Economic Review: Papers & Proceedings* 2009, 99: 2, S. 58–63.
- Goos, M.; Manning, A.; Salomons, A. (2014): Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring. In: *American Economic Review* 2014, 104(8), S. 2509–2526.
- Gotsch, M. (2012): Innovationsaktivitäten wissensintensiver Dienstleistungen. Die Markenmeldung als Indikator. Wiesbaden: Gabler.
- Gottschald, J. (2001): Place&Play-Roboter: Ein portables Handhabungssystem für die Werkstatt. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 2001.
- Gram, M. (2011): Wertstromanalyse als Potentialanalyse in der Prozessindustrie. In: *WINGbusiness*, Nr. 2, S. 39–41.
- Gray, J.V.; Skowronski, K.; Esenduran, G.; Rungtusanatham, M.J. (2013): The Reshoring Phenomenon: What Supply Chain Academics Ought to Know and Should Do. In: *Journal of Supply Chain Management* 49(2), S. 27–33.
- Grömling, M.; Plünnecke, A.; Scharnagel, B. (2007): Was trägt die Politik zum Aufschwung in Deutschland bei? *IW-Trends – Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung* aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 34. Jahrgang, Heft 3/2007.
- Hackel, M.; Bertram, B.; Blötz, U.; Laaser, I.; Reymers, M.; Tutschner, H.; Wasiljew, E. (2014): Diffusion von neuen Technologien – Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe.

- Hägele, M. (1994): Serviceroboter – Ein Beitrag zur Innovation im Dienstleistungswesen. Eine Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik (IPA) gefördert vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, Förderkennzeichen NT209. Stuttgart.
- Hägele, M. (2006): Robotik. In H.-J. Bullinger, *Technologieführer: Grundlagen, Anwendungen, Trends*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hägele, M.; Blümlein, N. und Kleine, O. (2011). Wirtschaftlichkeitsanalysen neuartiger Servicerobotik-Anwendungen und ihre Bedeutung für die Robotik-Entwicklung. Eine Analyse der Fraunhofer Institute IPA (Stuttgart) und ISI (Karlsruhe) im Auftrag des BMBF. http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/user_upload/Kompetenzen/Roboter-_und_Assistenzsysteme/Industrielle_und_gewerbliche_Servicerobotik/Studie_EFFIROB.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Hammerschmidt, Christian (2013): Auf dem Weg zur Industrie 4.0 nehmen Herausforderungen Gestalt an. In: VDI nachrichten, 6. Dezember.
- Hartmann, A. (2002): Dienstleistungen im wirtschaftlichen Wandel: Struktur, Wachstum und Beschäftigung. In: Hartmann, A.; Mathieu, H. (Hrsg.): Dienstleistungen in der Neuen Ökonomie. Struktur, Wachstum und Beschäftigung, Gutachten der Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin.
- Heim, E.; Matiz, D.; Ehrat, M. (2014): Offshoring oder Reshoring? Aktuelle Trends und eine Entscheidungshilfe für KMU in Hochlohnländern. In: Zeitschr. f. wirtsch. Fabrikbetrieb 109(12), S. 920–922.
- Heß, P. (2009): Roboter übernehmen neue Aufgaben. Programmierung von Industrierobotern wird einfacher. In: VDI-Z Integrierte Produktion, Band 151 (2009) 10, S. 51–53.
- Hipp, C. (2008): Service peculiarities and the specific role of technology in service innovation management. In: International Journal of Services and Technology Management, 9(2), S. 154–173.
- Hollenstein, H. (2005): Determinants of International Activities. Are SMEs Different? In: Small Bus Econ 24(5), S. 431–450. DOI: 10.1007/s11187-005-6455-x.
- Holz, R. (2009): An Investigation into Off-shoring and Back-shoring in the German Automotive Industry. PhD thesis, University of Wales, Swansea.

- IFR (2005-2014): World robotics 2005-2014. Industrial Robots. International Federation of Robotics (IFR), Statistical Department. Frankfurt am Main: VDMA Verlag.
- IFR (2015): World robotics. Statistics, Market Analysis, Forecasts and Case Studies. International Federation of Robotics (IFR), Statistical Department. Online verfügbar unter <http://www.worldrobotics.org/>, zuletzt geprüft am 20. Mai 2015.
- ING-DiBa (2015): Die Roboter kommen. In: Economic Research, April 2015.
- Institut der deutschen Wirtschaft (2005): Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln, Jahrgang 31, Heft 21.
- ISO (2012): ISO 8373:2012 Robots and robotic devices – Vocabulary.
- IW Consult; vbw (2014): Dienstleistungspotenziale im Rahmen von Industrie 4.0. Studie von IW Consult für die Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. Köln; München: IW Consult; vbw, http://vbw-agenda.de/downloads/positionen/140313-i-dienstleistungspotenziale_Industrie_4.0_final.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Jäger, A.; Maloca, S. (2013): Dokumentation der Umfrage Modernisierung der Produktion 2012. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Jäger, A.; Moll, C.; Som, O.; Zanker, C.; Kinkel, S.; Lichtner, R. (2015): Analysis of the impact of robotic systems on employment in the European Union. Unveröffentlichter Endbericht des Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Auftraggeber: European Commission, Directorate-General of Communications Networks, Content & Technology.
- Kagermann, H. (2015): Abschotten ist keine Alternative. In: VDI nachrichten, 17. April, Nr. 16, S. 2.
- Kagermann, H. (Hrsg.) (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin: acatech, Forschungsunion, Plattform Industrie 4.0: München, Berlin, Frankfurt/M., April, www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf.
- Kelkar, Oliver; Heger, Roland; Dao, Dan-Khanh (2014): Studie Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie. MHP A Porsche Company und ESB Business School, Reutlingen University, http://www.mhp.com/fileadmin/mhp.de/assets/studien/MHP-Studie_Industrie4.0_V1.0.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.

- Kempermann, Hanno; Lichtblau, Karl (2014): Dienstleistungspotenziale im Rahmen von Industrie 4.0. Studie für den Verband der bayerischen Wirtschaft. März, Köln und München: IW Consult und vbw, http://vbw-agenda.de/downloads/positionen/140313-i-dienstleistungspotenziale_Industrie_4.0_final.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- KfW/ZEW Gründungspanel (2009): Konsumnahe Dienstleistungen – Branchenreport zur Entwicklung junger Unternehmen, Verband der Vereine Creditreform e.V., Neuss.
- Kinkel, S. (2012): Trends in Production Relocation and Backshoring Activities – Changing Patterns in the Course of the Global Economic Crisis. In: *International Journal of Operations & Production Management* 32(6), S. 696–720.
- Kinkel, S. (2014): Future and impact of backshoring – Some conclusions from 15 years of research on German practices. In: *Journal of Purchasing and Supply Management* 20(1), S. 63–65. DOI: 10.1016/j.pursup.2014.01.005.
- Kinkel, S.; Friedewald, M.; Hüsing, B.; Lay, G.; Lindner, R. (2007b): Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit, Arbeitsbericht Nr. 113, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Kinkel, S.; Kleine, O. (2013): Die neuen China-Strategien. In: *Harvard business manager* 2013 (2), S.16-24. ISSN: 0174-335X.
- Kinkel, S.; Lay, G.; Jäger, A. (2007a): Mehr Flexibilität durch Organisation, Mitteilung der Erhebung Modernisierung der Produktion, Nr. 42, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Kinkel, S.; Lay, G.; Jäger, A. (2009): Fertigungstiefe als Stellhebel für Produktivität. In: *ATZproduktion*, 2. Jg, H. 5–6, S. 53–57.
- Kinkel, S.; Lay, G.; Maloca, S. (2007c): Development, motives and employment effects of manufacturing offshoring of German SMEs. In: *IJESB* 4(3), S. 256. DOI: 10.1504/IJESB.2007.013251.
- Kinkel, S.; Maloca, S. (2008): Produktionsverlagerung rückläufig. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Mitteilungen aus der ISI-Erhebung zur Modernisierung der Produktion, 45).
- Kinkel, S.; Maloca, S. (2009): Ausmaß und Motive von Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen im deutschen Verarbeitenden Gewerbe. In: Steffen Kinkel (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Standortplanung. In- und ausländische Standorte richtig bewerten*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 23–34.

- Kinkel, S.; Weißfloch, U. (2009): Estimation of the Future User Potential of Innovative Robot Technologies in SMEs – Promising Prospects. In: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) (Hrsg.): World Robotics 2009, Industrial Robots: Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment. Frankfurt/M.
- Kirner, E.; Armbruster, H.; Kinkel, S. (2006): Kontinuierlicher Verbesserungsprozess – Baustein zur Prozessinnovation in KMU. Mitteilung der Erhebung Modernisierung der Produktion, Nr. 40, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Kirner, E.; Som, O.; Jäger, A. (2009): Vernetzungsmuster und Innovationsverhalten von nicht-forschungsintensiven Betrieben. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Klein, Michael (2014): „Mittelständler unterschätzen IT“ Interview mit Franz E. Gruber, CEO FORCAM. In: Automobil-Produktion, Juli 2014, S. 50.
- Kleine, O.; Kinkel, S.; Jäger, A. (2007): Flexibilität durch Technologieeinsatz, Mitteilung der Erhebung Modernisierung der Produktion, Nr. 44, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Knop, R. (2009): Erfolgsfaktoren strategischer Netzwerke kleiner und mittlerer Unternehmen. Ein IT-gestützter Wegweiser zum Kooperationserfolg. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Knüpffer, Gunnar (2014a): ‚Obama investiert in Innovations-Center‘; Interview mit dem MIT-Director Dr. Reynolds über neue Innovations-Center, Forschungsschwerpunkte und das Ausbildungsniveau in den US. In: Produktion Nr. 32–33, S. 7.
- Knüpffer, Gunnar (2014b): US-Produktion erlebt Renaissance. Automatisierung, Lohnkosten und Probleme in Asien führen zur Rückverlagerung von Produktion. In: Produktion Nr. 32–33, S. 6.
- Krämer, H. (2015): Baumol’s Disease und unternehmensbezogene Dienstleistungen. In: Gotsch, M.; Lerch, C. (Hrsg): Messung der Produktivität innovativer und wissensintensiver Dienstleistungen. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Kreutzer, Ulrich (2014): Digitale Fabrik. 99,99885 Prozent Qualität. In: Pictures of the Future Online, München: Siemens, 1. Oktober, <http://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/digitale-fabrik-die-fabrik-von-morgen.html>, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Kropfberger, Dietrich (1986): Erfolgsmanagement statt Krisenmanagement: Strategisches Management in Mittelbetrieben. Linz: Universitätsverlag R. Trauner.

- KUKA (Hrsg.) (2013): Einfach produktiver. Wie Roboter Werkzeugmaschinen optimieren. Augsburg: KUKA Roboter GmbH.
- Lay, G.; Maloca, S. (2005): Aufgabenintegration – Abkehr vom Taylorismus. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung Nr. 36, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Lay, G.; Schröter, M.; Armbruster, H. (2009): TCO als Ausgangspunkt für die Entwicklung dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle in der Investitionsgüterindustrie. In: Schweiger, Stefan (Hrsg.): Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern. Wiesbaden: Gabler, S. 153–179.
- Lechner, A-M. (2010): KMU internationalisieren – Von Hidden Champions lernen? Eine empirische Untersuchung. Andrassy Beitrag Nr. 3, Andrassy Universität Budapest. <http://www.andrassyuni.eu/upload/File/Forschung/Andrassy%20Beitrage%20IB/3-BIBLechnerdef.pdf>, zuletzt geprüft am 23. Juni 2015.
- Legler, H.; Frietsch, R. (2007): Neuabgrenzung der Wissenswirtschaft – forschungsin-
tensive Industrien und wissensintensive Dienstleistungen (NIW/ISI-Listen 2006).
Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 22–2007, Hannover/Karlsruhe.
- Lehmann, A. (1993): Dienstleistungsmanagement: Strategien und Ansatzpunkte zur Schaffung von Servicequalität (Bde. Schriften des Instituts für Betriebswirtschaft, Hochschule St. Gallen für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften; Entwicklungstendenzen im Management, Bd. 9). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Leinweber, V.; Kochta, T.; Böhmer, M. (2013): Digitalisierung als Rahmenbedingung für Wachstum. Erstellt durch die Prognos AG für die Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (vbw), München: vbw.
- Levy, F.; Murnane, R. (2013): Dancing with robot: Dancing with robots: Human skills for computerized work. NEXT Report. <http://www.thirdway.org/publications/714>, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Lin, P.; Abney, K.; Bekey, G.A. (Hg.) (2012): Robot Ethics. The Ethical and Social Implications of Robotics. Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press.
- Lixenfeld, Christoph (2015): Bosch setzt auf Kooperationen. IIC hängt Plattform Industrie 4.0 ab“. In: CIO, 13. März.

- Lossie, Heiko (2015): Bei der Digitalisierung sucht die Industrie Orientierung. Deutsche Branche vermisst Impulse zur vernetzten Produktion. Firmen schauen neidisch auf Fortschritte in den USA. In: General-Anzeiger Bonn, 11. April, S. 6.
- Machin, S.; van Reenen, J. (2007): Changes in Wage Inequality. London: London School of Economics and Political Science. ISBN 978 0 85328 162 7.
- Maloca, S. (2015): Erhebung Modernisierung der Produktion. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Online verfügbar unter http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/i/projekte/erhebung_pi.php, zuletzt geprüft am 5. Juli 2015.
- Margulescu, S.; Margulescu, E. (2014): Reshoring in Manufacturing and Services. In: Global Economic Observer 2(5), S. 90–95.
- Martin, H. (2011). World Robotics: Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment (Bd. Service Robots). Frankfurt/Main: International Federation of Robotics (IFR), Statistical Department.
- Matthes, B.; Christoph, B.; Janik, F.; Ruland, M. (2014): Collecting information on job tasks - an instrument to measure tasks required at the workplace in a multi-topic survey. In: J Labour Market Res. 47, S. 273–297.
- Matthias, B.; Dai, F.; Hug, K; et al. (2004) Ein flexibel einsetzbares Robotersystem für variierende Aufgaben in der Maschinenbeschickung. In: VDI Robotik 2004. Düsseldorf: VDI Verlag, S. 567–574.
- McCormack, Richard, A. (2015): Obama's 2016 Budget Request For National Network For Manufacturing Innovation (NNMI) Reaches Beyond \$600 Million. In: Manufacturing & Technology News 22(3), [www.manufacturingnews.com/news/2015/NNMI-Budget-\\$600-Million-0219151.html](http://www.manufacturingnews.com/news/2015/NNMI-Budget-$600-Million-0219151.html), zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Meffert, H.; Bruhn, M. (2003): Dienstleistungsmarketing: Grundlagen – Konzepte – Methoden, Wiesbaden, Gabler.
- Michels, C.; Schmoch, U. (2012): The growth of science and database coverage. In: Scientometrics 93(3), S. 831–846.
- Miller, B.; Atkinson, R.D. (2013): Are Robots Taking Our Jobs, Or Making Them? In: The Information Technology & Innovation Foundation, September 2013.

- Mittelbach, Klaus (2015): Plattform Industrie 4.0: Deutschland wehrt sich gegen das „Y“. Interview mit Handelsblatt-Redakteurin Caroline Lindekamp. In: Handelsblatt, 14. April, www.handelsblatt.com/technik/hannovermesse/plattform-industrie-4-0-deutschland-wehrt-sich-gegen-das-y/11636154.html, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Möbius, F. (1996): Visuelle Programmierung von Industrierobotern – Ein Beitrag zur bedienergerechten Gestaltung von Programmiersystemen. Technische Universität Kaiserslautern. Dissertation, 1996.
- Möller, J. (2015): Verheißung oder Bedrohung? die Arbeitsmarktwirkungen einer vierten industriellen Revolution. (IAB-Discussion Paper, 18/2015).
- Moos, M.; Janßen-Timmen, R.; Leonenko, N.; Klöpffer, J. (2013): Gesamtwirtschaftliche und sektorale Wertschöpfung aus der Produktion und Anwendung von Füge-technik in Deutschland. Gutachten im Auftrag des Deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. Endbericht.
- Müller, Bernd (2015): Die intelligente Fabrik. In: extra 01/2015, S. IIVI.
- Müller, Giorgio V. (2015): Das Internet hält Einzug in der Fabrik. Mit Industrie 4.0 werden Produktions- und Wertschöpfungsketten digital vernetzt – Unterschiedliche Firmenkulturen führen zu Konflikten. Schrittweises Vorgehen ratsam. In: NZZ, 23. Januar.
- Nikolaus, Katrin (2014): Digitale Fabrik. Industrie 4.0: Die Zukunft hat bereits begonnen. In: Pictures of the Future, Herbst 2014, München: Siemens, <http://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/digitale-fabrik-industrie-4-0.html>.
- PCAST, President’s Council of Advisors on Science and Technology (2014): Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing. Prepared by the Steering Committee of the Advanced Manufacturing Partnership 2.0 (AMP 2.0). Executive Office of the President, October, www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/amp20_report_final.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- PCAST, President’s Council of Advisors on Science and Technology (2013): National Network for Manufacturing Innovation: A Preliminary Design. Executive Office of the President, January, www.manufacturing.gov/docs/nnmi_prelim_design.pdf, zuletzt geprüft am 24. August 2015.

- Pease, Arthur F. (2014a): Szenario 2016: Zukunft der Produktion. In: Pictures of the Future, Herbst 2014, München: Siemens, Online unter dem Titel: „Produktion im Untergrund“: www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/3d-druck-szenario-2060.html, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Pease, Arthur F. (2014b): Digitale Fabrik. Szenario 2030: Der Reality-Check. In: Pictures of the Future, Herbst 2014, München: Siemens, www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/digitale-fabrik-szenario-der-reality-check.html, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Pennings, E.; Sleuwaegen, L. (2000): International relocation. Firm and industry determinants. In: *Economics Letters* 67 (2), S. 179–186. DOI: 10.1016/S0165-1765(99)00269-4.
- Pisano, Gary P. and Shih, Willy C. (2012): Why America Needs a Manufacturing Renaissance – HBS Working Knowledge. Online verfügbar unter <http://hbswk.hbs.edu/pdf/item/6913.pdf>, zuletzt geprüft am 2. Juli 2015.
- PwC - PricewaterhouseCoopers (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Frankfurt/M.: PwC.
- Rohrbach-Schmidt, D.; Tiemann, M. (2013): Changes in workplace tasks in Germany-evaluating skill and task measures. In: *Journal for Labour Market Research*, 46(3), S. 215–237.
- Rosenberger, Walther (2015): Deutschland probt die Revolution im Maschinenbau. Industrie 4.0 könnte hierzulande Milliarden-Gewinne beschern – Die USA preschen voran. In: *Stuttgarter Nachrichten*, 15. April, S. 9.
- Sandor, A.; und Meldon, W. (2014): The Rise of Robotics. *bcg perspectives*: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/business_unit_strategy_innovation_rise_of_robotics/, zuletzt geprüft am 7. Juli 2015.
- Schmidt, Holger (2014): Der Hype um Industrie 4.0 ist vorbei: Verspielt Deutschland seine Zukunft? T3n: <http://t3n.de/news/industrie-4-0-deutschland-585460/>, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Schmidt, Holger (2015): SAP und Telekom wollen gemeinsam Standards für Industrie 4.0 setzen. Blogbeitrag vom 15. März 2015, <https://netzoekonom.de/2015/03/15/sap-und-telekom-wollen-gemeinsam-standards-fuer-industrie-4-0-setzen/>, zuletzt geprüft am 24. August 2015.

- Schmoch, U. (2007): Double-boom cycles and the comeback of science-push and market-pull. In: *Research Policy* 36(7), S. 1000–1015.
- Schrein, Kevin (2014): Die vierte Revolution. Die intelligente digitale Verknüpfung von Mensch, Maschine und Internet nennen Politiker Industrie 4.0. Für bayerische Unternehmen ist sie bereits lukrative Realität. In: *SZ*, 9. Dezember, S. 14.
- Semmann, Claudius (2015): Die vierte Revolution stockt. In: *Deutsche Verkehrszeitung DVZ - Deutsche Logistik Zeitung*, Ausg. 016/15, 24. Februar, S. 5.
- Siemens (2014): Plug and Produce. Wenn in der Industrie 4.0 Produkte und Maschinen kommunizieren sollen, müssen sie eine Sprache sprechen. An den Standards der Produktion wird intensiv gearbeitet. In: *hitech* 03/14, S. 38-39, www.hi-tech-online.com/hitech-314/hifuture/plug-and-produce.html, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- Söllner, R. (2014): Die wirtschaftliche Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen in Deutschland. In: *Wirtschaft und Statistik*, Januar 2014, S. 40-51, Statistisches Bundesamt: Wiesbaden.
- Som, O.; Jäger, A. (2012): Qualität auf dem Vormarsch. Mitteilung der Erhebung Modernisierung der Produktion, Nr. 62, Fraunhofer ISI: Karlsruhe.
- Specht, D.; Lutz, M. (2007): Outsourcing und Offshoring als strategische Handlungsalternativen. In: Dieter Specht (Hrsg.): *Insourcing, Outsourcing, Offshoring*. 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, S. 43–60.
- Spinnarke, Sabine (2014): Die Amerikaner schaffen Tatsachen. Interview mit Stefan Bungart, Leiter GE Software Europe. In: *Produktion*, Nr. 32–33, 14. August, S. 11.
- Spitz-Oener, A. (2006): Technical Change, Job Tasks and Rising Educational Demands: Looking Outside the Wage Structure. In: *Journal of Labor Economics* 24(2), S. 235–270.
- Statista (2015): Softwareerlöse von SAP bis 2014. Statistik. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/28269/umfrage/softwareerloese-des-unternehmens-sap-seit-dem-jahr-2001/>, zuletzt geprüft am 1. Juli 2015.
- Statistisches Bundesamt (2008a): Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken 2009. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2008b): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

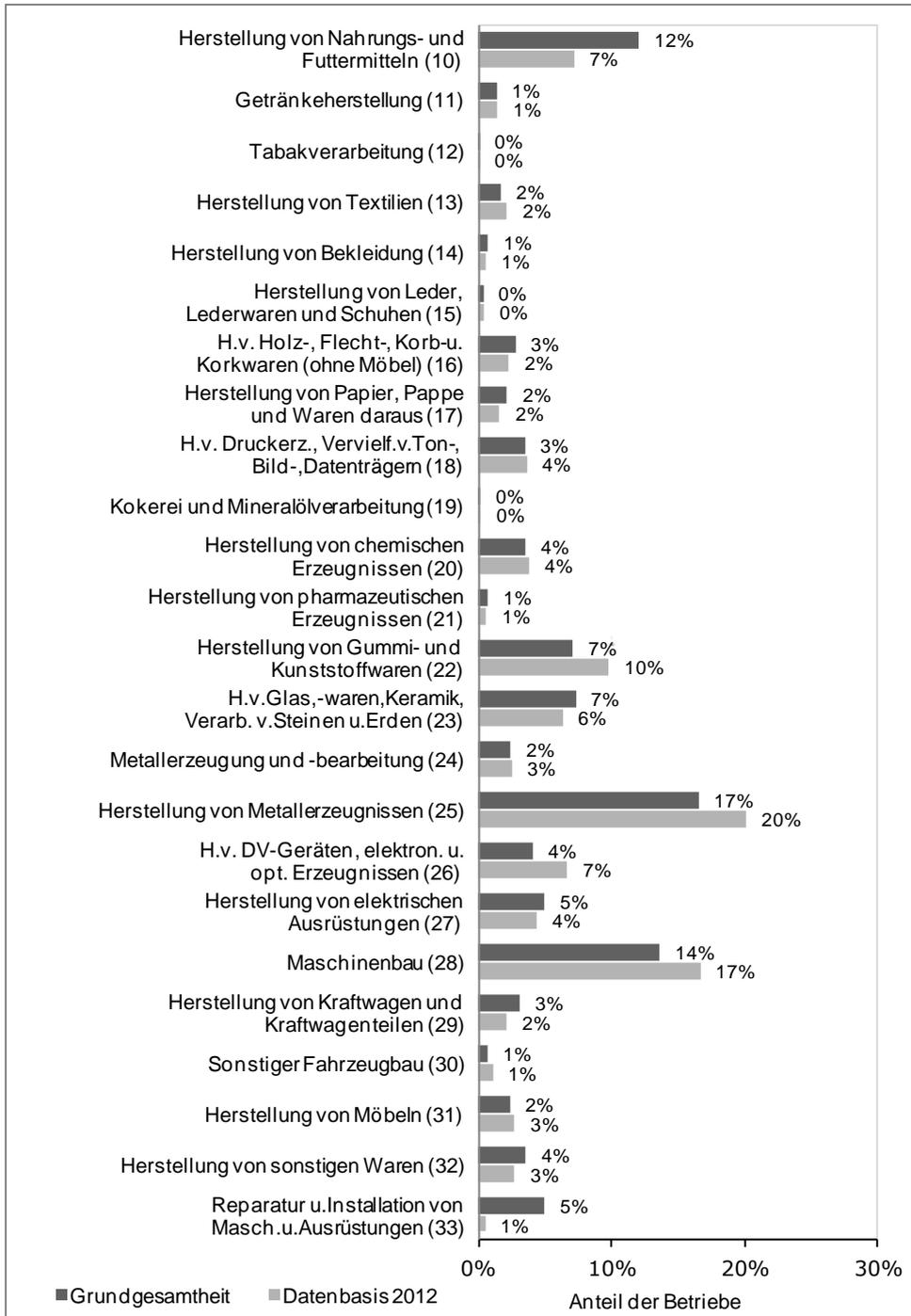
- Statistisches Bundesamt (2011a): Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 4.1.2: Betriebe, Beschäftigte und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen, Ausgabe 2010. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2011b): Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 4.1.4: Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Bundesländern. Ausgabe 2010. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2013): Produzierendes Gewerbe 2011. Fachserie 4, Reihe 4.3, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2014): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, statistisches Jahrbuch 2014. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2015a): Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken. <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Verzeichnis/Gueterverzeichnis.html>, zuletzt geprüft am 16. Mai 2015.
- Statistisches Bundesamt (2015b): Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, Ausgabe 2009 (GP 2009), unter: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftklassifikationen/Content75/KlassifikationGP09.html>, zuletzt geprüft am 16. Mai 2015.
- Statistisches Bundesamt (2015c): Produzierendes Gewerbe 2014. Fachserie 4, Reihe 3.1: Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2015d): Vorleistungen, unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Glossar/Vorleistungen.html>, zuletzt geprüft am 2. Juli 2015.
- Statistisches Bundesamt (2015e): Produktionswert. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Glossar/Produktionswerte.html>, zuletzt geprüft am 2. Juli 2015.
- Statistisches Bundesamt (2015f): Bruttowertschöpfung, unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Glossar/Bruttowertschoepfung.html> zuletzt geprüft am 2. Juli 2015.
- Tate, W.L. (2014): Offshoring and reshoring. U.S. insights and research challenges. In: *Journal of Purchasing and Supply Management* 20(1), S. 66–68.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2010): VDI 2870 Entwurf. Berlin: Beuth Verlag.

- VDMA (2014a): Robotik und Automation auf einen Blick. Die Branche – Der Fachverband – Die Hersteller, unter: <http://rua.vdma.org/documents/106005/4470654/R%2BA+2014-2015+DE.pdf/5ecedcab-fc09-43a0-9216-1859ddc30196>, zuletzt geprüft am 2. Juli 2015.
- VDMA (2014b): Statistisches Handbuch für den Maschinenbau. Ausgabe 2014. Frankfurt/M: VDMA Verlag GmbH.
- VDMA (2014c): Hauptpressekonferenz Automatica http://rua.vdma.org/documents/106005/4072834/Charts_PK_R%2BA_3_Juni_2014.pdf/989f875d-5a9b-4d4f-a377-64642f225548, zuletzt geprüft am 2. Juli 2015.
- VDMA (2015a): Organisation. <http://www.vdma.org/organisationen>, zuletzt geprüft am 16. Mai 2015.
- VDMA (2015b): Robotik. <http://robotik.vdma.org/>, zuletzt geprüft am 16. Mai 2015.
- VDMA (2015c): Industrie 4.0. Die vierte industrielle Revolution. VDMA-Forum Industrie 4.0, Frankfurt/M.: VDMA. www.vdma.org/documents/105628/900795/VDMA+Forum+Industrie+4.0.pdf/5b9869a0-.3691-4be9-be4f-b8d2a6729b56, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- VDMA; McKinsey (2014): Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau, VDMA: Frankfurt und McKinsey & Company: Berlin.
- Weck, M.; Dammertz, R. (1994): OPERA – Offene Programmierumgebung zur Entwicklung von Roboterprogrammen. In: Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hrsg.): Roboteranwendung für die flexible Fertigung. München, Wien: Carl Hanser Verlag, S. 129–149.
- Weiss, Harald (2015): Industrie 4.0 braucht auch in den USA Zeit. In: VDI nachrichten, 13. März, Nr. 11, S. 14.
- Zanker, C.; Kinkel, S.; Maloca, S. (2013): Globale Produktion von einer starken Heimatbasis aus. Verlagerungsaktivitäten deutscher Unternehmen auf dem Tiefstand (Modernisierung der Produktion - Mitteilungen aus der ISI-Erhebung, 63). Online verfügbar unter <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/i/de/pi-mitteilungen/PI63.pdf>, zuletzt geprüft am 30. Juni 2015.
- Zeller, B.; Achtenhagen, C.; Föst, S. (2010): Das „Internet der Dinge“ in der industriellen Produktion. Studie zu künftigen Qualifikationserfordernissen auf Fachkräfteebene.

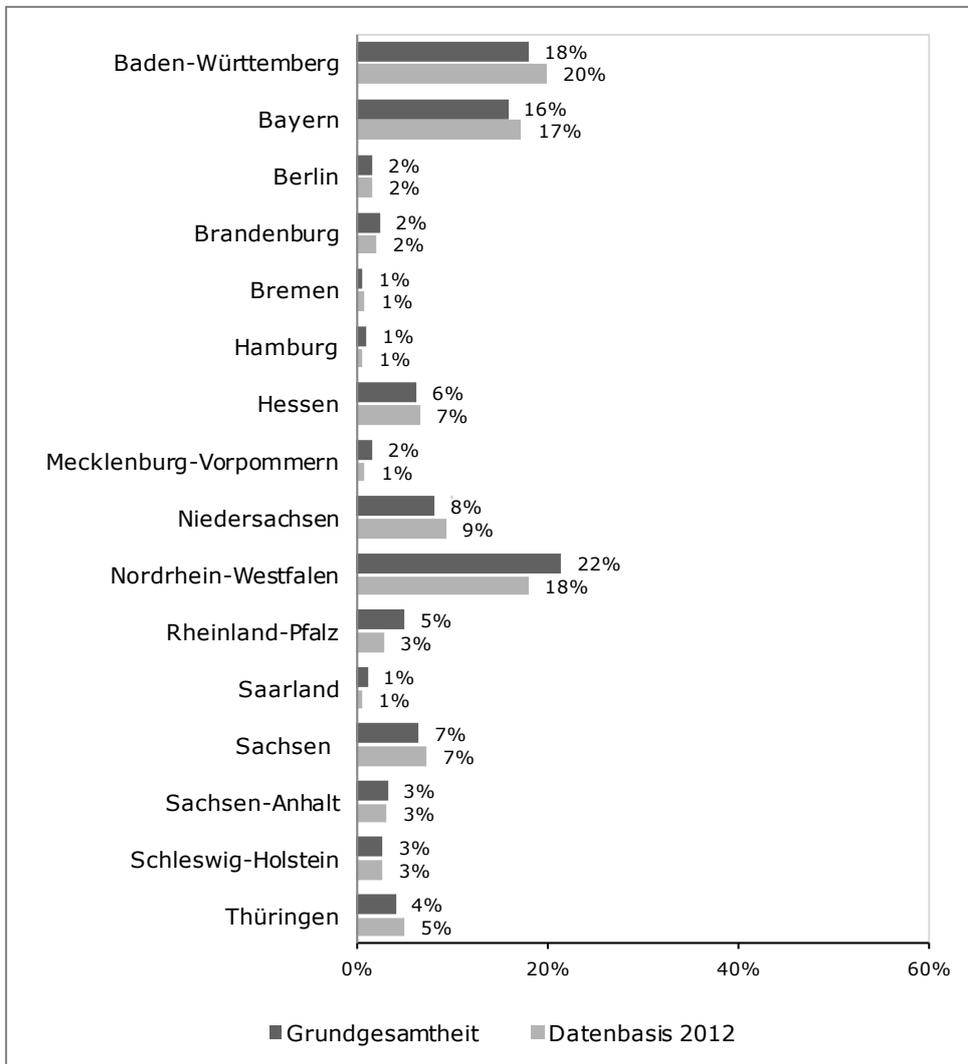
- Zistl, Sandra (2015): Digitale Fabrik. Die Zukunft der Fertigung. In: Pictures of the Future. München: Siemens. <http://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/digitale-fabrik-plm.html>, zuletzt geprüft am 24. August 2015.
- ZVEI (2014): Diskussionspapier Digitale Agenda. Frankfurt/M.: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, www.zvei.org/Verband/Publikationen/Seiten/Digitale-Agenda.aspx, zuletzt geprüft am 24. August 2015.

Anhang I zu Kapitel 3

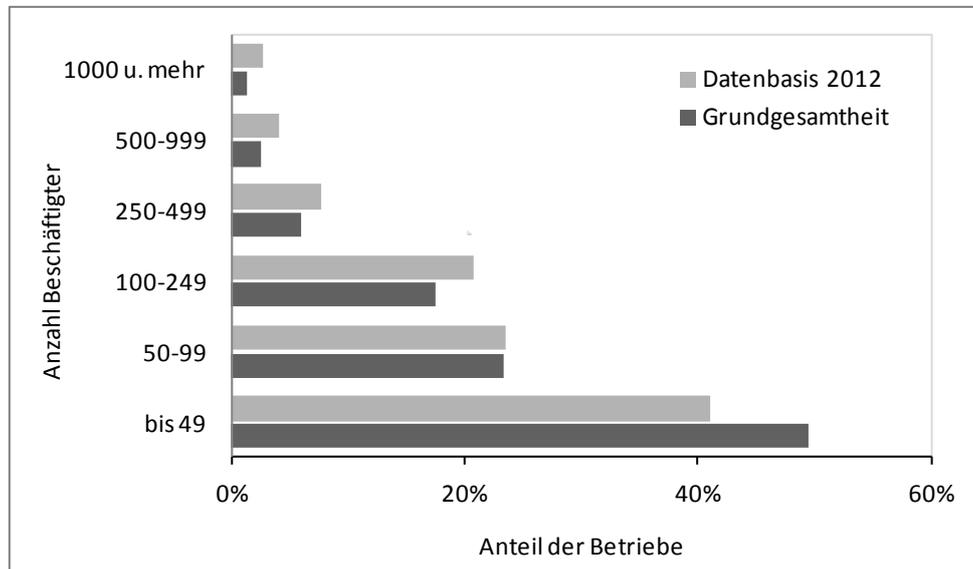
Anhang AI-1: Vergleich der Branchenverteilung in der Grundgesamtheit und der Datenbasis *Modernisierung der Produktion* 2012.



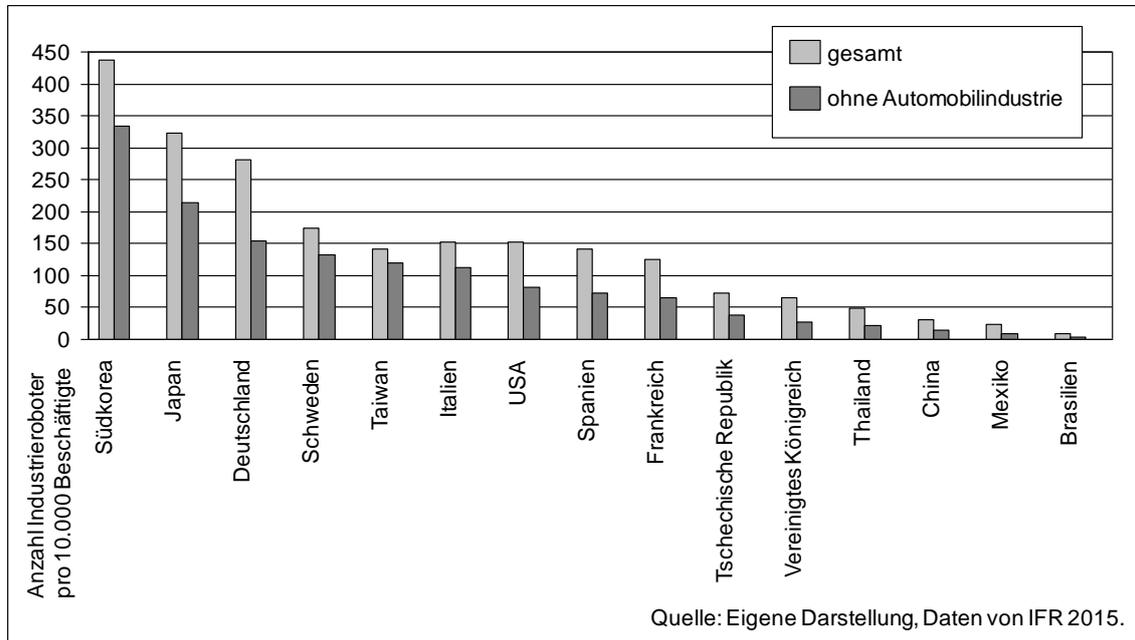
Anhang AI-2: Vergleich der Verteilung nach Bundesländern in der Grundgesamtheit und der Datenbasis 2012



Anhang AI-3: Vergleich der Größenverteilung in der Grundgesamtheit und der Datenbasis *Modernisierung der Produktion 2012*



Anhang AI-4: Anzahl an Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte für 2013 im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt und ohne Automobilindustrie



Anhang AI-5: Regressionen Arbeitsproduktivität

Effekt der Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	(Δ in R2 - Sig.)
Betriebsgröße	Anzahl Beschäftigte 2011	0,035	0,504	1,4% ***
	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	0,106	0,051 *	
	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10 - 12)	0,063	0,109	
	Chemie (20 21)	0,134	0,000 ***	
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	0,057	0,194	
Branche ⁽¹⁾	Metallindustrie (27 28)	0,028	0,535	2,4% ***
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	-0,003	0,938	
	Fahrzeugbau (29 30)	-0,018	0,595	
	Sonstiges	-0,039	0,370	
Export	Export (Logarithmus von ~)	0,227	0,000 ***	3,3% ***
	kein Export	0,021	0,650	
Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	0,192	0,000 ***	3,4% ***
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	-0,155	0,000 ***	2,0% ***
	keine Angaben zu Qualifikation	0,009	0,768	
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	0,031	0,350	0,2% n.s.
	komplexe Produkte	-0,024	0,483	
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,000	0,994	1,0% **
	Großserienproduktion	0,109	0,001 **	
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	-0,003	0,927	0,0% n.s.
Robotik ⁽⁵⁾	Industrieroboter/Handhabungssysteme	0,064	0,048 **	0,3% **
	(Konstante)		0,000 ***	
Modellgüte	N	952		
	korr. R ² / Sig.	0,157	0,000 ***	

Anmerkungen: Abhängige Variable: Ln. von Arbeitsproduktivität. Modellspezifikation: lineare Regression. Δ in R2 verdeutlicht den Erklärungsbeitrag des Konstrukts für das Modell, der folgende Signifikanzwert die Bewertung der dazugehörigen F-Statistik.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine Nutzung

Effekt der intensiven Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	(Δ in R ² - Sig.)
Betriebsgröße	Anzahl Beschäftigte 2011	0,042	0,418	1,8% ***
	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	0,114	0,037 **	
Branche ⁽¹⁾	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10 - 12)	0,065	0,102	2,5% ***
	Chemie (20 21)	0,135	0,000 ***	
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	0,062	0,163	
	Metallindustrie (27 28)	0,036	0,426	
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	-0,007	0,858	
Branche ⁽¹⁾	Fahrzeugbau (29 30)	-0,018	0,600	
	Sonstiges	-0,039	0,371	
	Export (Logarithmus von ~)	0,208	0,000 ***	
Export	kein Export	0,003	0,942	3,2% ***
	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	0,191	0,000 ***	3,4% ***
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	-0,162	0,000 ***	2,2% ***
	keine Angaben zu Qualifikation	0,002	0,954	
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	0,037	0,273	0,2% n.s.
	komplexe Produkte	-0,021	0,541	
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	-0,004	0,910	0,9% **
	Großserienproduktion	0,104	0,002 **	
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	-0,013	0,698	0,0% n.s.
Robotik ⁽⁵⁾	Intensive Nutzung Industrieroboter/ Handhabungssysteme	0,049	0,117	0,2% n.s.
	(Konstante)		0,000 ***	
Modelgüte	N	937		
	korr. R ² / Sig.	0,153	0,000 ***	

Anmerkungen: Abhängige Variable: Ln. von Arbeitsproduktivität. Modellspezifikation: lineare Regression. Δ in R² verdeutlicht den Erklärungsbeitrag des Konstrukts für das Modell, sowie die Signifikanz der Modellverbesserung, der folgende Signifikanzwert die Bewertung der dazugehörigen F-Statistik.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine oder nicht-intensive Nutzung von Robotern

Anhang AI-6: Regressionen Total Factor Productivity

Effekt der Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	(Δ in R2 - Sig.)
Betriebsgröße	Anzahl Beschäftigte 2011	0,058	0,302	0,3% n.s.
	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	0,009	0,873	
Branche ⁽¹⁾	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10 - 12)	0,177	0,000 ***	3,5% ***
	Chemie (20 21)	0,076	0,041 **	
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	0,090	0,058 *	
	Metallindustrie (27 28)	0,004	0,933	
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	-0,048	0,249	
	Fahrzeugbau (29 30)	0,000	0,992	
	Sonstiges	0,041	0,382	
Export	Export (Logarithmus von ~)	0,152	0,005 **	1,6% ***
	kein Export	0,008	0,878	
Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	0,337	0,000 ***	10,4% ***
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	-0,083	0,019 **	0,6% *
	keine Angaben zu Qualifikation	-0,003	0,918	
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	0,033	0,358	0,2% n.s.
	komplexe Produkte	-0,020	0,586	
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,015	0,691	0,4% n.s.
	Großserienproduktion	0,068	0,059 *	
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	-0,014	0,695	0,0% n.s.
Robotik ⁽⁵⁾	Industrieroboter/Handhabungssysteme ⁽⁶⁾	-0,005	0,891	0,0% n.s.
	(Konstante)		0,003 **	
Modelgüte	N	838		
	korr. R ² / Sig.	0,128	0,000 ***	

Anmerkungen: Abhängige Variable: Ln. von Arbeitsproduktivität. Modellspezifikation: lineare Regression. Δ in R2 verdeutlicht den Erklärungsbeitrag des Konstrukts für das Modell, sowie die Signifikanz der Modellverbesserung, der folgende Signifikanzwert die Bewertung der dazugehörigen F-Statistik.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine Nutzung von Robotern

Effekt der intensiven Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	(Δ in R2 - Sig.)
Betriebsgröße	Anzahl Beschäftigte 2011	0,061	0,279	0,4% n.s.
	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	0,004	0,943	
Branche ⁽¹⁾	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10 - 12)	0,176	0,000 ***	3,5% ***
	Chemie (20 21)	0,075	0,048 **	
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	0,084	0,077 *	
	Metallindustrie (27 28)	0,000	0,996	
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	-0,050	0,232	
	Fahrzeugbau (29 30)	-0,004	0,909	
	Sonstiges	0,034	0,477	
Export	Export (Logarithmus von ~)	0,137	0,012 **	1,5% **
	kein Export	-0,004	0,942	
Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	0,330	0,000 ***	10,1% ***
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	-0,084	0,019 **	0,6% *
	keine Angaben zu Qualifikation	-0,019	0,572	
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	0,039	0,289	0,2% n.s.
	komplexe Produkte	-0,017	0,648	
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,017	0,657	0,3% n.s.
	Großserienproduktion	0,056	0,125	
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	-0,021	0,551	0,0% n.s.
Robotik ⁽⁵⁾	Intensive Nutzung Industrieroboter/ Handhabungssysteme	0,030	0,378	0,1% n.s.
	(Konstante)		0,002 **	
Modelgüte	N	824		
	korr. R ² / Sig.	0,126	0,000 ***	

Anmerkungen: Abhängige Variable: Ln. von Arbeitsproduktivität. Modellspezifikation: lineare Regression. Δ in R2 verdeutlicht den Erklärungsbeitrag des Konstrukts für das Modell, sowie die Signifikanz der Modellverbesserung, der folgende Signifikanzwert die Bewertung der dazugehörigen F-Statistik.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine oder nicht-intensive Nutzung von Robotern

Anhang AI-7: Regressionen Anteil an Ausschuss

Effekt der Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	(Δ in R ² - Sig.)
Betriebsgröße	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	0,007	0,841	0,0% n.s.
	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10 - 12)	-0,109	0,003 **	
	Chemie (20 21)	-0,112	0,001 ***	
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	0,030	0,464	
Branche ⁽¹⁾	Metallindustrie (27 28)	0,007	0,871	3,0% ***
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	0,057	0,112	
	Fahrzeugbau (29 30)	0,001	0,979	
	Sonstiges	0,032	0,437	
Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	-0,041	0,470	0,2% n.s.
	keine Angabe zu Fertigungstiefe	0,010	0,864	
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	0,078	0,015 **	0,5% *
	keine Angaben zu Qualifikation	-0,003	0,932	
Export	Export (Logarithmus von ~)	0,037	0,441	0,1% n.s.
	kein Export	0,040	0,361	
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	-0,076	0,018 **	1,3% ***
	komplexe Produkte	0,085	0,010 **	
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,109	0,001 **	0,9% **
	Großserienproduktion	-0,001	0,966	
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	0,007	0,822	0,0% n.s.
Robotik ⁽⁵⁾	Nutzung Industrieroboter/Handhabungssysteme	-0,077	0,014 **	0,5% **
	(Konstante)		0,207	
Modellgüte	N	1116		
	korr. R ² / Sig.	0,069	0,000 ***	

Anmerkungen: Abhängige Variable: Ln. von Ausschussquote. Modellspezifikation: lineare Regression. Δ in R² verdeutlicht den Erklärungsbeitrag des Konstrukts für das Modell, sowie die Signifikanz der Modellverbesserung, der folgende Signifikanzwert die Bewertung der dazugehörigen F-Statistik.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$.

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine Nutzung von Robotern

Effekt der intensiven Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	(Δ in R2 - Sig.)
Betriebsgröße	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	-0,006	0,858	0,0% n.s.
Branche ⁽¹⁾	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10 - 12)	-0,115	0,002 **	
	Chemie (20 21)	-0,112	0,001 ***	
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	0,024	0,556	
	Metallindustrie (27 28)	-0,010	0,824	3,1% ***
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	0,058	0,112	
	Fahrzeugbau (29 30)	-0,005	0,868	
	Sonstiges	0,030	0,467	
	Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	-0,036	0,526
	keine Angabe zu Fertigungstiefe	0,013	0,816	
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	0,077	0,017 **	0,5% *
	keine Angaben zu Qualifikation	0,008	0,790	
Export	Export (Logarithmus von ~)	0,036	0,452	0,1% n.s.
	kein Export	0,046	0,308	
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	-0,077	0,017 **	1,3% ***
	komplexe Produkte	0,085	0,011 **	
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,113	0,001 ***	1,0% **
	Großserienproduktion	0,001	0,985	
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	0,017	0,584	0,0% n.s.
Robotik ⁽⁵⁾	Intensive Nutzung Industrieroboter/ Handhabungssysteme	-0,031	0,305	0,1% n.s.
	(Konstante)		0,202	
Modelgüte	N	1099		
	korr. R ² / Sig.	0,065	0,000 ***	

Anmerkungen: Abhängige Variable: Ln. von Ausschussquote. Modellspezifikation: lineare Regression. Δ in R2 verdeutlicht den Erklärungsbeitrag des Konstrukts für das Modell, sowie die Signifikanz der Modellverbesserung, der folgende Signifikanzwert die Bewertung der dazugehörigen F-Statistik.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine oder nicht-intensive Nutzung von Robotern

Anhang AI-8: Regressionen Termintreue

Effekt der Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Indikator	Δ 2log-like-lihood					
		OR	Sig.	Sig.	OR	Sig.	
Betriebsgröße	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	1,04	n.s.	-0,378	n.s.	1,08	n.s.
	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10 - 12)	7,01	***			7,08	***
	Chemie (20 21)	3,41	***			2,87	**
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	2,17	***			2,15	***
Branche ⁽¹⁾	Metallindustrie (27 28)	1,78	**	-48,528	***	1,61	**
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	1,61	**			1,66	**
	Fahrzeugbau (29 30)	2,33	**			2,13	**
	Sonstiges	2,58	***			2,23	***
Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	0,74	**	-13,615	***	0,74	**
	keine Angabe zu Fertigungstiefe	0,38	***			0,39	***
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	0,91	n.s.	-4,096	n.s.	0,88	*
	keine Angaben zu Qualifikation	0,68	n.s.			0,82	n.s.
Export	Export (Logarithmus von ~)	0,96	n.s.	-0,932	n.s.	0,97	n.s.
	kein Export	1,04	n.s.			0,99	n.s.
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	0,96	n.s.	-0,208	n.s.	0,96	n.s.
	komplexe Produkte	1,05	n.s.			0,92	n.s.
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,75	*	-12,331	**	0,74	**
	Großserienproduktion	1,60	**			1,58	**
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	0,76	*	-3,257	*	0,76	*
Robotik ⁽⁵⁾	Nutzung Industrieroboter/Handhabungssysteme	1,33	**	-4,314	**	1,42	**
	(Konstante)	0,89	n.s.			0,87	n.s.
Modelgüte	-2 Log-Likelihood / Signifikanz	1616,9	***			1599,7	***
	Cox & Snell R ²	9,6%				9,7%	
	Nagelkerkes R ²	12,8%				13,0%	
	Fallzahl	1273				1273	

Anmerkungen: Abhängige Variable: (a) überdurchschnittliche Termintreue (Mittelwert). (b) Termintreue über dem Median. Δ 2log-like-lihood nimmt Bezug auf Modell (a).

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine Nutzung von Robotern

Effekt der intensiven Nutzung von Robotik/Handhabungssystemen

Konstrukt	Indikator	OR ^(a)	Sig.	Δ 2log-likelihood	Sig.	OR ^(b)	Sig.
Betriebsgröße	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	1,07	n.s.	-1,138	n.s.	1,11	*
	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10-12)	7,26	***			7,32	***
Branche ⁽¹⁾	Chemie (20 21)	3,46	***			2,90	**
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	2,33	***			2,31	***
	Metallindustrie (27 28)	1,91	**	-50,274	***	1,72	**
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	1,62	**			1,66	**
	Fahrzeugbau (29 30)	2,38	**			2,14	**
	Sonstiges	2,78	***			2,39	***
Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	0,77	**	-13,531	**	0,77	**
	keine Angabe zu Fertigungstiefe	0,39	***			0,41	**
Ungelernte Arbeitskräfte	Anteil An- und Ungelernter (zentriert unter Kontrolle Missing-Angaben)	0,90	n.s.	-3,759	n.s.	0,87	n.s.
	keine Angaben zu Qualifikation	0,73	n.s.			0,91	*
Export	Export (Logarithmus von ~)	0,97	n.s.	-0,657	n.s.	0,98	n.s.
	kein Export	1,05	n.s.			0,99	n.s.
Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	0,94	n.s.	-0,428	n.s.	0,94	n.s.
	komplexe Produkte	1,07	n.s.			0,93	n.s.
Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,74	**	-14,256	***	0,72	**
	Großserienproduktion	1,67	**			1,66	**
Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	0,77	*	-2,879	*	0,77	n.s.
Robotik ⁽⁵⁾	Intensive Nutzung Industrieroboter/ Handhabungssysteme	1,24	n.s.	-1,281	n.s.	1,42	*
	(Konstante)	0,77	n.s.			0,75	n.s.
Modelgüte	-2 Log-Likelihood / Signifikanz	1591,6	***			1574,2	***
	Cox & Snell R ²	9,4%				9,4%	
	Nagelkerkes R ²	12,5%				12,7%	
	Fallzahl	1252				1252	

Anmerkungen: Abhängige Variable: (a) überdurchschnittliche Termintreue (Mittelwert). (b) Termintreue über dem Median. Δ 2log-likelihood nimmt Bezug auf Modell (a).

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine oder nicht-intensive Nutzung von Robotern

Anhang AI-9: Regressionen Beschäftigungsentwicklung

Konstrukt	Variablen												
		Koeff.	Sig.		Koeff.	Sig.		Koeff.	Sig.		Koeff.	Sig.	
Betriebsgröße	Anzahl an Beschäftigten 2011	-0,018	0,658		0,033	0,431		-0,019	0,645		0,031	0,443	
	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	0,001	0,976		-0,002	0,960		0,005	0,916		0,003	0,945	
Branche ⁽¹⁾	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10-12)	0,011	0,803		0,045	0,292		0,017	0,697		0,050	0,235	
	Chemie (20 21)	-0,101	0,010	**	-0,086	0,024	**	-0,091	0,019	**	-0,078	0,040	**
	Gummi- und Kunststoffwaren (22 23)	0,072	0,123		0,067	0,137		0,075	0,107		0,070	0,122	
	Metallindustrie (27 28)	0,070	0,169		0,063	0,198		0,076	0,133		0,068	0,167	
	EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26 27)	0,056	0,198		0,054	0,193		0,060	0,160		0,058	0,161	
	Fahrzeugbau (29 30)	0,013	0,755		0,018	0,649		0,011	0,783		0,016	0,672	
	Sonstiges	-0,030	0,505		0,014	0,755		-0,019	0,665		0,025	0,567	
	Export	Export (Logarithmus von ~)	0,056	0,338		0,062	0,282		0,067	0,244		0,072	0,204
	kein Export	0,089	0,099	*	0,103	0,053	*	0,094	0,078	*	0,109	0,039	**
Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz] (Z-Wert)	0,084	0,207		0,098	0,108		0,096	0,151		0,106	0,082	*
	keine Angabe zu Fertigungstiefe	0,068	0,306		0,067	0,269		0,076	0,249		0,073	0,227	
Alter des Betriebs	Alter des Betriebs (Logarithmus ~)	-0,280	0,000	***	-0,217	0,000	***	-0,282	0,000	***	-0,218	0,000	***
Produkt-innovation	Umsatzanteil mit neuen Produkten (Logarithmus ~)	0,141	0,030	**	0,075	0,236		0,141	0,029	**	0,076	0,231	
	kein Umsatz mit neuen Produkten	0,078	0,230		0,045	0,476		0,072	0,264		0,042	0,505	
Umsatzentwicklung	Umsatzentwicklung zw. 2009 und 2011 [% pro Jahr]				0,328	0,000	***				0,333	0,000	***
Robotik ⁽⁵⁾	intensive Nutzung von IR/H	-0,043	0,236		-0,032	0,363							
	Nutzung Industrieroboter/Handhabungssysteme							-0,014	0,706		-0,010	0,793	
	(Konstante)		0,000	***		0,000	***		0,000	***		0,000	***
Modelgüte	N	698			671			708			679		
	korr. R ² / Sig.	0,107	0,000	***	0,196	0,000	***	0,106	0,000	***	0,198	0,000	***

Anmerkungen: Abhängige Variable: Ln. Positive Beschäftigungsentwicklung zwischen 2010 und 2012. Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$, n.s. $p > 0.1$. Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine bzw. keine oder nicht-intensive Nutzung von Robotern

Anhang AI-10: Definitionen zu Kapitel 3.5.1 der Abschätzung der direkten Wertschöpfung

Die **Produktionswerte** der Unternehmen stellen den Wert der Verkäufe von Waren und Dienstleistungen aus eigener Produktion an andere (in- und ausländische) Wirtschaftseinheiten ohne Gütersteuern dar, zuzüglich der produzierten und noch nicht verkauften Waren sowie der selbst erstellten Anlagen.“ Statistisches Bundesamt (2015e), o. A. Der **Produktionswert** in der Produktionsstatistik „umfasst im Allgemeinen den verkaufsfähigen, für den Markt vorgesehenen Produktionsausstoß (ohne Handelsware und umgepackte Ware).“ Statistisches Bundesamt (2015c), S. 3

Vorleistungen sind zum „Beispiel Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, sonstige Vorprodukte, laufende Reparaturen, Transportkosten, Postgebühren, Anwaltskosten, gewerbliche Mieten und so weiter.“ Statistisches Bundesamt (2015d), o. A.

„Die **Bruttowertschöpfung** wird durch Abzug der Vorleistungen von den Produktionswerten errechnet; sie umfasst also nur den im Produktionsprozess geschaffenen Mehrwert. Die Bruttowertschöpfung ist bewertet zu Herstellungspreisen, d. h. ohne die auf die Güter zu zahlenden Steuern (Gütersteuern), aber einschließlich der empfangenen Gütersubventionen.“ Statistisches Bundesamt (2015f), o. A.

Anhang AI-11: Produktionswerte Bereich „Robotik und Automation“ 2014

Gütergruppe	Produktionswert in Tausend Euro	Absatzmenge in Stück	Anzahl der Unternehmen	Produktionswert in % des jeweiligen WZ*
Mehrzweck-Industrieroboter	981.428	28.095	25	0,5%
Montagemaschinen (mit manuellen Tätigkeiten)	826.177	17.436	90	0,4%
Montageautomaten	1.109.415	10.451	73	0,6%
Montagelinien	1.804.720	7.074	80	0,9%
Aufbaueinheiten, Kennzeichnungseinheiten zum Prägen	66.044	14.718	13	0,0%
Handhabungsgeräte für automatische Zufuhr und Entnahme	472.711	13.112	59	0,2%
Manipulatoren	130.112	52.297	16	0,1%
Greif- u. Spanneinrichtungen für Handhabungsgeräte	350.493	953.429	32	0,2%
Teile für andere Maschinen für automatische Montagetechnik	816.261	-	137	0,4%
<i>Maschinenbau (WZ 28)</i>				<i>3,4%</i>
Reparatur von Maschinen für die Montagetechnik	79.328	-	78	<i>0,2%</i>
Installation von Maschinen für automatische Montagetechnik	321.489	-	46	0,8%
<i>Reparatur, Instandhaltung von Maschinen, Ausrüstungen (WZ 33)</i>				<i>1,0%</i>
Gesamt	6.958.178		649	

Anhang AI-12: Schema zur Berechnung der Bruttowertschöpfung

Gesamtumsatz

± Bestandsveränderungen an unfertigen und fertigen Erzeugnissen aus eigener Produktion

± Selbsterstellte Anlagen

= Bruttoproduktionswert (Gesamtleistung)

- Materialverbrauch, Einsatz an Handelswaren, Kosten für Lohnarbeiten

= Nettoproduktionswert

- Sonstige Vorleistungen

= Bruttowertschöpfung

Quelle: Statistisches Bundesamt (2013), S. 11

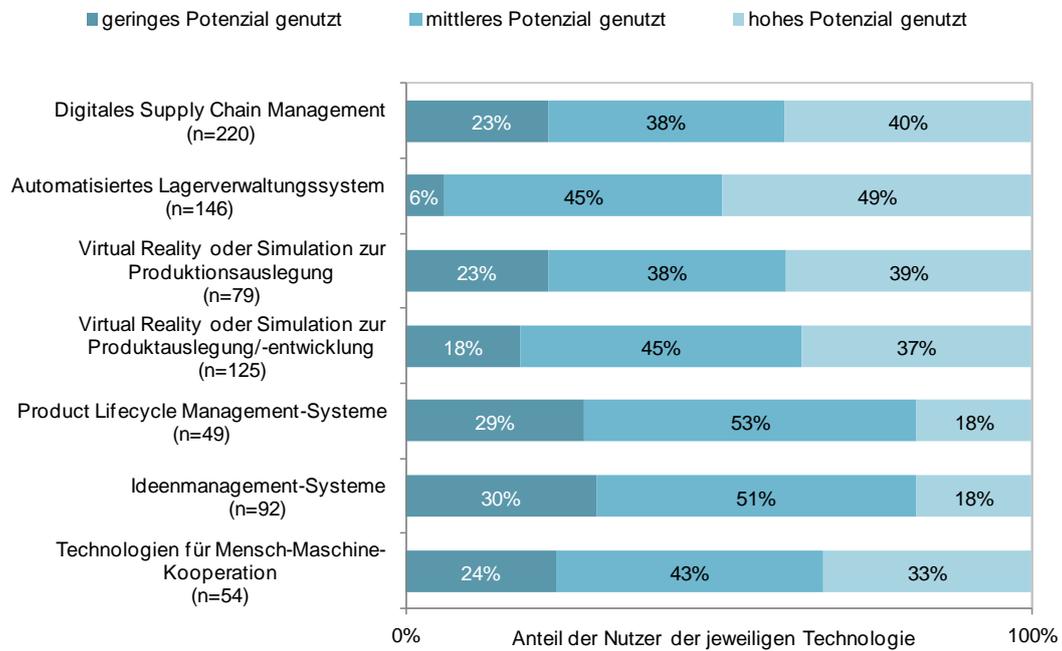
Anhang AI-13: Regressionen zu Einsatz von IKT in Abhängigkeit der Nutzung von Industrierobotern/Handhabungssystemen

Modell	Konstrukt	Variable	(a)		(b)		(c)		(d)		(e)		(f)		(g)		(h)		
			OR	Sig.	OR	Sig.	OR	Sig.	OR	Sig.	OR	Sig.	OR	Sig.	OR	Sig.	OR	Sig.	
	Betriebsgröße	Logarithmus der Anzahl an Beschäftigten	1,47	***	1,47	***	1,71	***	2,17	***	1,94	***	2,26	***	1,24		1,01		
	Branche ⁽¹⁾	Nahrungs-, Genussmitteln, Getränke, Tabak (10-12)	0,71		1,30		0,06	***	0,27		0,76		1,32		4,13	**	0,56		
		Chemie (20-21)	0,36	**	0,93		0,09	***	0,69		1,40		1,17		0,52		0,00		
		Gummi- und Kunststoffwaren (22-23)	0,94		2,03		0,41	**	0,44		0,86		1,19		1,33		0,78		
		Metallindustrie (27-28)	1,34		2,17	**	0,57	**	0,40	**	0,73		1,01		1,51		0,92		
		EDV, Elektronik, elektrischen Ausrüstungen (26-27)	1,14		0,90		0,80		1,20		1,05		1,47		1,45		0,99		
		Fahrzeugbau (29-30)	1,16		1,49		1,11		0,57		0,79		0,48		2,29		1,04		
		Sonstiges	0,94		0,82		0,30	***	0,66		0,79		1,19		0,90		0,58		
		Komplexität ⁽²⁾	einfache Produkte	0,65	**	0,36	**	0,69		0,49		0,65		0,83		1,18		1,30	
		komplexe Produkte	1,01		0,89		1,33		1,10		1,61	**	1,11		0,79		2,73		
	Seriengröße ⁽³⁾	Einzelstückfertigung	0,66	**	0,96		0,75		0,98		0,44	***	0,80		1,57		1,26		
			Großserienproduktion	1,50	**	1,05		1,18		1,57		1,01		0,69		0,95		1,25	
	Produktfertigung ⁽⁴⁾	Produktion nach Kundenauftragseingang	1,23		1,19		1,10		1,04		1,10		0,99		2,85	**	0,88		
	Ungelernte Arbeitskräfte (Anteil An- und Ungelernter)		1,00		0,99	**	1,00		0,99		0,99	**	1,00		1,00		0,99		
	Export	Export (Logarithmus von ~)	0,91		0,91		1,21		0,99		0,99		1,00		1,27		0,89		
			kein Export	0,37	**	0,64		0,89		0,58		0,79		0,77		1,92		0,67	
	Fertigungstiefe	Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz]	0,92		5,49	**	2,71		1,42		1,33		1,05		0,78		9,05		
			keine Angabe zu Fertigungstiefe	0,89		5,28	***	2,00		1,41		1,45		0,74		0,89		3,90	
	Robotik ⁽⁵⁾	Industrieroboter/Handhabungssysteme	2,61	***	2,40	***	2,10	***	1,44	n.s.	1,12	n.s.	3,22	***	13,76	***	4,63	**	
			(Konstante)	0,09	***	0,01	***	0,01	***	0,00	***	0,01	***	0,00	***	0,00	***	0,00	**
	Modelgüte	N	1187		1179		1181		1175		1174		1196		1193		1190		
			Sig. des Hosmer-Lemeshow-Tests	0,420	n.s.	0,222	n.s.	0,545	n.s.	0,950	n.s.	0,549	n.s.	0,456	n.s.	0,300	n.s.	0,330	n.s.
			-2 Log-Likelihood (Sig.)	1346,250	***	704,579	***	947,323	***	531,317	***	949,724	***	932,111	***	372,116	***	188,014	n.s.
			Cox & Snell R ² /Nagelkerkes R ²	14,9% / 20,5%		8,2% / 16,6%		18,9% / 29,7%		11,1% / 25,6%		13,3% / 21,7%		17,1% / 27,6%		7,9% / 24,2%		1,9% / 11,9%	

Anmerkungen: Abhängige Variable: Nutzung von (a) Supply Chain Management mit Kunden/Zulieferern, (b) VR / Simulation zur Produktionsauslegung, (c) VR / Simulation zur Produktauslegung/-entwicklung (d) Product Lifecycle Management-Systeme (e) Ideenmanagementsysteme (f) Automatisiertes Lagerverwaltungssystem (intern) (g) Technologien für Mensch-Maschine-Kooperation (h) Multimodale Programmiermethoden. Modellspezifikation: logistische Regression.

Signifikanzniveau: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, n.s. $p > 0.1$. Referenzgruppen: (1) Maschinenbau (28), (2) Mittelkomplexe Produkte, (3) Mittelserienfertigung, (4) Keine Fertigung nach Kundenauftragseingang, (5) Keine Nutzung.

Anhang AI-14: Umfang des Einsatzes verschiedener Digitalisierungstechnologien bei Roboternutzern



Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Anhang AI-15: Stärken-Schwächen-Übersicht der KMU

	Stärken von KMU	Schwächen von KMU
Strukturbedingt	Überschaubarkeit von Unternehmen und Markt Direkter Kundenkontakt Produktionstechnische Anpassungsfähigkeit Geringe Arbeitsteilung	Geringe Marktmacht Begrenzte finanzielle und personelle Ressourcen Fehlen von Kostendegression
Verhaltensbedingt	Entscheidungsflexibilität Unbürokratische Organisation/kurze Entscheidungswege Spezifische Problemlösungskompetenz Abhängigkeit des Erfolges von der Qualifikation des Unternehmens und weniger Manager Flache Hierarchien Innovationsfördernde Unternehmerpersönlichkeit	Unterentwickelte Planungs- und Abrechnungssysteme/fehlende strategische Planung Organisations- und Führungsdefizite Abhängigkeit des Erfolges von der Qualifikation des Unternehmens weniger Manager Geringe Kooperationsbereitschaft Geringes Methodenwissen Innovationshemmende Unternehmerpersönlichkeit Fehlen fachspezifischer Abteilungen

Quelle: in Anlehnung an Lechner (2010), S. 32 mit Verweis auf Knop (2009), S. 14, nach Kropfberger (1986), S. 37 und Dömötör (2007), S. 16

Anhang II zu Verlagerungs- und Rückverlagerungsaktivitäten

AII-1: Verlagerungs- und Rückverlagerungsaktivitäten des deutschen Verarbeitenden Gewerbes – Literaturüberblick

Die Ausgliederung und Verlagerung von Unternehmensaktivitäten wurde insbesondere in den 1990er-Jahren als geeignetes Mittel diskutiert, um Kostensenkungen zu erzielen, die es ermöglichen, im internationalen Wettbewerb konkurrenzfähig zu bleiben (Kinkel und Maloca 2009). Dass der Schritt, Aktivitäten ins Ausland zu verlagern, kein Garant für Erfolg ist, zeigt sich daran, dass nicht selten innerhalb kurzer Zeit Bestrebungen erfolgten, die ausgelagerten Unternehmensaktivitäten wieder zurück ins Ursprungsland zu holen, also Rückverlagerungsaktivitäten (Kinkel 2014).

Für Verlagerungs- und Rückverlagerungsaktivitäten existieren sowohl in der deutsch-, als auch englischsprachigen Literatur unterschiedliche Begrifflichkeiten, welche verschiedene Ausprägungen der Aktivitäten beschreiben. Zunächst kann in diesem Zusammenhang der Begriff Outsourcing genannt werden, welcher nach Specht und Lutz (2007, S. 46) „die Übertragung der Verantwortung für benötigte Ressourcen auf externe Anbieter“ bezeichnet – unabhängig davon, ob diese im gleichen Land angesiedelt sind oder nicht. Offshoring – als weitere Form der Verlagerung – wird von Dachs et al. (2012) als Verlagerung von Produktionsaktivitäten ins Ausland definiert, unabhängig davon, ob diese Produktionsaktivitäten in unternehmenseigene ausländische Standorte oder ob diese in externe Unternehmen transferiert werden. Specht und Lutz (2007) spezifizieren Offshoring etwas detaillierter als Verlagerung einzelner Prozessschritte oder ganzer Produktionsprozesse an unternehmenseigene Standorte im Ausland. Der Begriff Offshoring wird dabei häufig synonym zu Produktionsverlagerungen ins Ausland genutzt (Specht und Lutz 2007). Dem Begriff der Rückverlagerung lassen sich Reshoring und Backshoring gleichsetzen, die das Zurückverlagern von Produktionskapazitäten in das Mutterland eines Unternehmens bezeichnen (Gray et al. 2013, Kinkel 2014). Das Re- und Backshoring ist somit immer einer Verlagerungsaktivität nachgeordnet (Fratocchia et al. 2014). Darüber hinaus existieren zahlreiche weitere Begrifflichkeiten, wie beispielsweise Back-Reshoring (Fratocchia et al. 2014) oder Back-Sourcing (Holz 2009), auf die hier nicht weiter eingegangen wird, da mit Outsourcing, Offshoring, Reshoring und Backshoring die in der Literatur dominierenden Begrifflichkeiten beschrieben sind.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Betrachtung von Offshoring, welches im Folgenden Verlagerungsaktivitäten beschreibt, sowie von Re- und Backshoring, welche im Folgenden Rückverlagerungsaktivitäten von Produktionskapazitäten im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland kennzeichnen. Basis der Aussagen ist eine stichwortbasierte Literaturrecherche bei den Suchdiensten Web of Science, Science Direct sowie Google Scholar. Dabei wurde nach deutschen sowie englischen Begrifflich-

keiten wie Outsourcing, Offshoring, Relocation, Reshoring, Backshoring bzw. Verlagerung, Rückverlagerung etc. in Verbindung mit Manufacturing, Germany bzw. Verarbeitendem Gewerbe und Deutschland gesucht. Zusätzlich wurden die zitierten und zitierenden Quellen der Suchergebnisse auf ihre Relevanz überprüft.

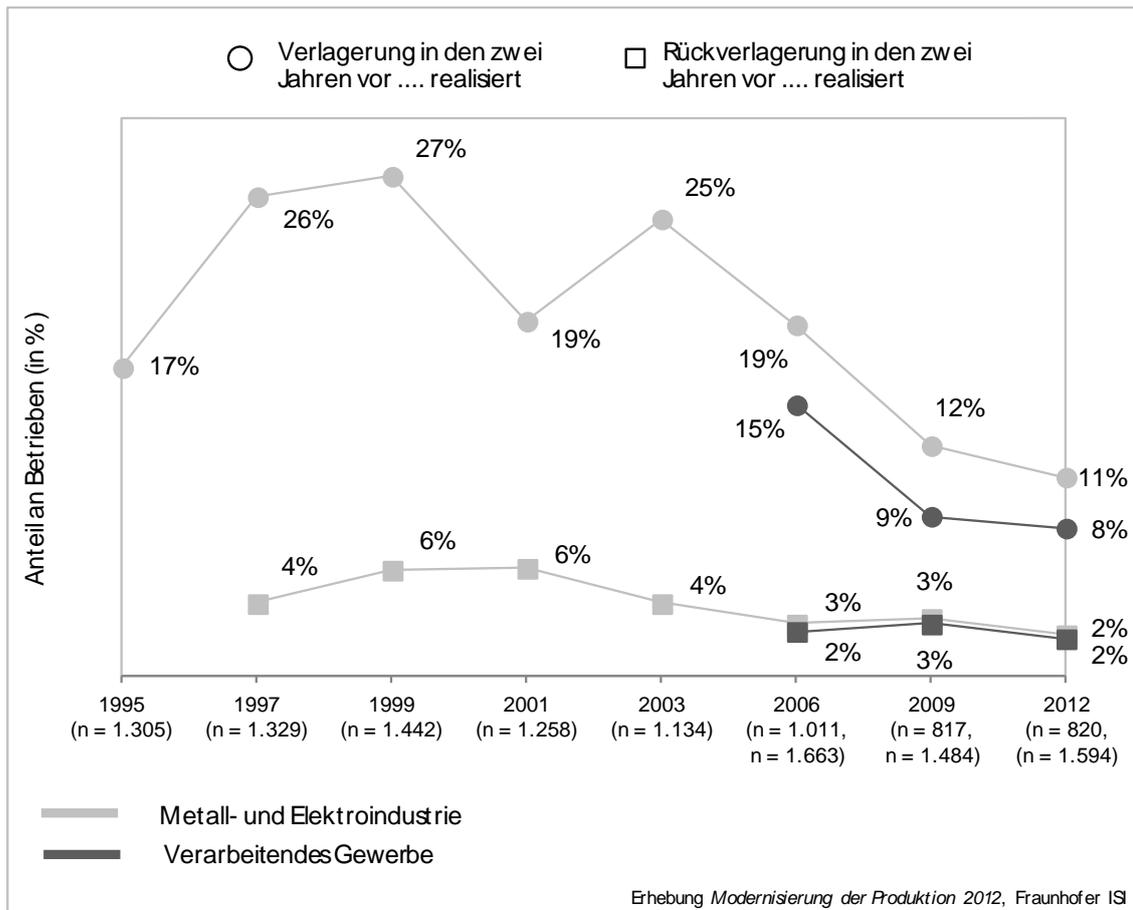
Es hat sich gezeigt, dass für die untersuchten Fragestellungen und den Zuschnitt des Untersuchungsgegenstands Veröffentlichungen, die auf Auswertungen der Erhebung *Modernisierung der Produktion* des Fraunhofer ISI basieren, das Verlagerungsgeschehen in Deutschland sehr gut erfassen. Diese breitenempirische Erhebung erfasst auf Betriebsebene die Nutzung technisch-organisatorischer Innovationen in der Produktion wie auch die betriebliche Performance. Sie wird seit 1993 (1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015) regelmäßig in Deutschland durchgeführt und adressiert seit 2006 eine repräsentative Stichprobe des gesamten Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland mit einem Umfang von 1.480 bis 1.660 Betrieben (Kinkel 2014). Die Erhebung bietet damit eine breitenempirisch belastbare Datenbasis, um Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland zu generieren (siehe auch Kapitel 3.1.1 sowie Maloca 2015). Die Erhebung umfasst ebenso Fragen zum Verlagerungs- und Rückverlagerungsverhalten von Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Aufgrund der Datenqualität und besonderen Eignung für Fragestellungen zur Verlagerung, bildet die Erhebung *Modernisierung der Produktion* des Fraunhofer ISI den Kern der im Folgenden zitierten Analysen. Zunächst wird auf Verlagerung, anschließend auf Rückverlagerung eingegangen.

AII-1.1 Verlagerungsaktivitäten

Die Verlagerung von Produktionskapazitäten ins Ausland wird oft als Hauptaktivität im Zusammenhang mit der Internationalisierung von Unternehmen betrachtet und besitzt eine große Bedeutung für die Industrie, deren Wettbewerbsfähigkeit und Arbeitsmärkte (Kinkel und Maloca 2009). Oft als Mittel zur Verringerung der Produktionskosten und zur Erhöhung der weltweiten Präsenz eingesetzt, steht die Erforschung von Verlagerungsaktivitäten sowie der dazugehörigen Gründe und Risiken im Zentrum zahlreicher Studien, die sich mit der Thematik auf globaler, amerikanischer, europäischer sowie nationaler Ebene auseinandersetzen (Aubuchon et al. 2012, Bachmann und Braun 2008, 2011, Broedner et al. 2009, Dachs et al. 2012, Doh 2005, Ellram 2013, Gilley 2000, Hollenstein 2005, Kinkel 2012, 2014, Kinkel et al. 2007c, Kinkel und Maloca 2008, 2009, Pennings und Sleuwaegen 2000, Specht 2007, Zanker et al. 2013).

Zanker et al. (2013) befassen sich sehr tiefgehend mit dem Thema Verlagerung und deren Entwicklung im Zeitablauf und bauen ihre Erkenntnisse auf Auswertungen der Erhebungsdaten zur *Modernisierung der Produktion* von 2012 auf. Die Ergebnisse der Untersuchung der Autoren stehen daher bei den folgenden Ausführungen im Fokus.

Abbildung AII-1.1–1: Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen im Zeitverlauf



Quelle: Zanker et al. (2013, S. 6)

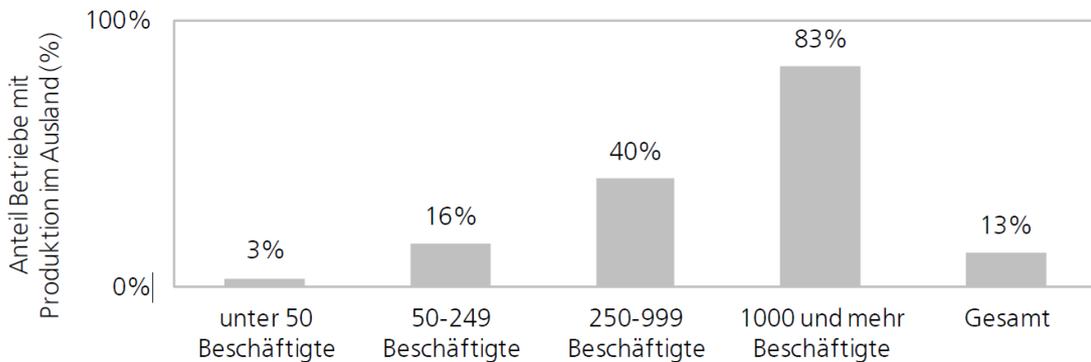
Die Analysen von Zanker et al. (2013) zeigen, dass vor allem ab Mitte der 1990er-Jahre Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland in großem Umfang Produk-

tionskapazitäten ins Ausland verlagerten (vgl. Abbildung AII-1.1–1).³⁹ Ende der 1990er-Jahre gaben über ein Viertel der im Rahmen der Erhebung *Modernisierung der Produktion* befragten Betriebe an, dass sie innerhalb der letzten beiden Jahre Produktionskapazitäten ins Ausland verlagert haben. Mit Ausnahme des Zeitraums von Mitte 1999 bis Mitte 2001 sind die Verlagerungsaktivitäten seither rückläufig und betreffen Mitte 2012 nur noch 8 Prozent der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes. Trotz dieser Entwicklung kann jedoch nicht von einem nachlassenden Internationalisierungsdrang gesprochen werden. Viel mehr investieren Unternehmen weiterhin in Produktionskapazitäten im Ausland, halten aber gleichzeitig die Kapazitäten am Heimatstandort oder bauen diese sogar weiter aus (Zanker et al. 2013). Gegenstand von Verlagerung sind dabei hauptsächlich reife Produkte mit standardisierten Prozessen (Kinkel und Kleine 2013, Kinkel 2012, Kinkel und Maloca 2009). Innovative und know-how-intensive Aktivitäten hingegen bleiben zumeist am Heimatstandort (Dachs et al. 2012).

Im Jahr 2012 können laut Zanker et al. (2013) 13 Prozent der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes Produktionskapazitäten im Ausland vorweisen (vgl. Abbildung AII-1.1–2). Zu erklären ist der geringe Durchschnittswert durch die großen Unterschiede, die sich über die verschiedenen Unternehmensgrößen hinweg zeigen. Unter den kleinen Unternehmen mit unter 50 Beschäftigten besitzen lediglich 3 Prozent Produktionskapazitäten im Ausland und unter den mittleren Unternehmen bis 249 Beschäftigte 16 Prozent. Bei großen Unternehmen bis 999 Beschäftigte liegt dieser Anteil bereits bei 40 Prozent und bei sehr großen Unternehmen mit mehr als 1.000 Beschäftigten haben über 80 Prozent der Betriebe Produktionskapazitäten im Ausland aufgebaut. Somit verfügt ein Großteil der sehr großen Unternehmen über Produktionskapazitäten im Ausland (Zanker et al. 2013).

39 Daten zu Rückverlagerungsaktivitäten des gesamten Verarbeitenden Gewerbes sind erst ab 2006 verfügbar. Jedoch bieten entsprechende Daten zur Metall- und Elektroindustrie, die bereits seit 1995 erhoben werden, einen guten Anhaltspunkt, um die vorangegangene Entwicklung im Verarbeitenden Gewerbe abschätzen zu können. Seit 2006 werden Verlagerungs- und Rückverlagerungsaktivitäten sowohl für die Metall- und Elektroindustrie als auch für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt erhoben. Der Anteil an Betrieben mit Rückverlagerungsaktivitäten ist im Betrachtungszeitraum 2006, 2009 und 2012 für beide Gruppen nahezu identisch. Dies lässt vermuten, dass auch die vorhergehende Entwicklung weitestgehend übereinstimmt.

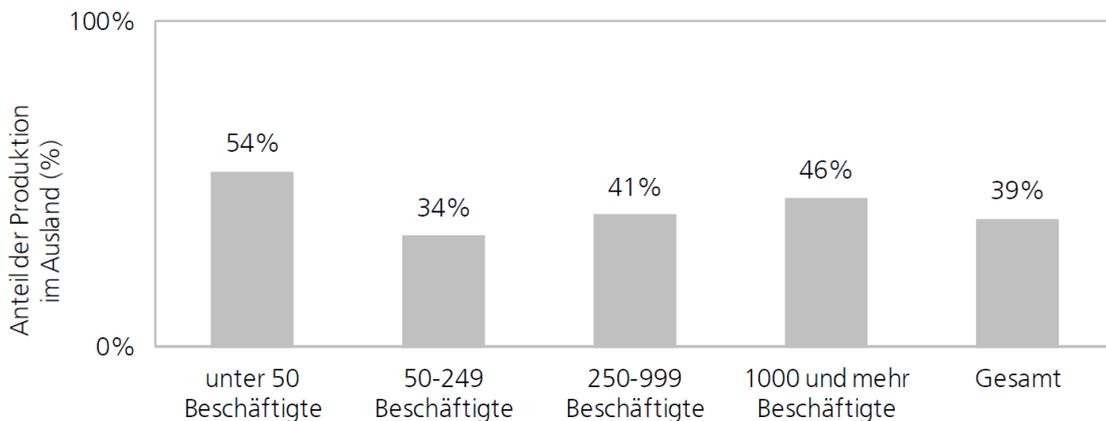
Abbildung AII-1.1–2: Anteil der Betriebe mit Produktionskapazitäten im Ausland

Erhebung *Modernisierung der Produktion 2012*, Fraunhofer ISI

Quelle: Zanker et al. (2013, S. 3)

In Abbildung AII-1.1–3 ist der Anteil der ins Ausland verlagerten Produktionskapazitäten an der gesamten Produktionskapazität verlagernder Betriebe dargestellt. Es fällt auf, dass kleine Betriebe unter 50 Beschäftigten mit Verlagerungsaktivitäten einen Großteil ihrer Produktionskapazität (54 Prozent) im Ausland haben. Die für eine Auslandsproduktion erforderliche kritische Masse scheint einen nennenswerten Anteil der Gesamtproduktion zu erfordern. Der durchschnittliche Anteil der Produktionskapazitäten im Ausland liegt unter allen verlagernden Betrieben bei 39 Prozent, was verdeutlicht, dass Unternehmen mit Verlagerungsaktivitäten einen nennenswerten Teil ihrer Produktion ins Ausland verlagern. Bezogen auf das gesamte deutsche Verarbeitende Gewerbe entspricht dies einem Anteil von etwa 21 Prozent der gesamten Produktionskapazitäten, die sich im Ausland befinden (Zanker et al. 2013).

Abbildung AII-1.1–3: Anteil der Produktionskapazitäten im Ausland am gesamten Produktionsvolumen bei Betrieben mit Auslandsproduktion

Erhebung *Modernisierung der Produktion 2012*, Fraunhofer ISI

Quelle: Zanker et al. 2013, S. 4

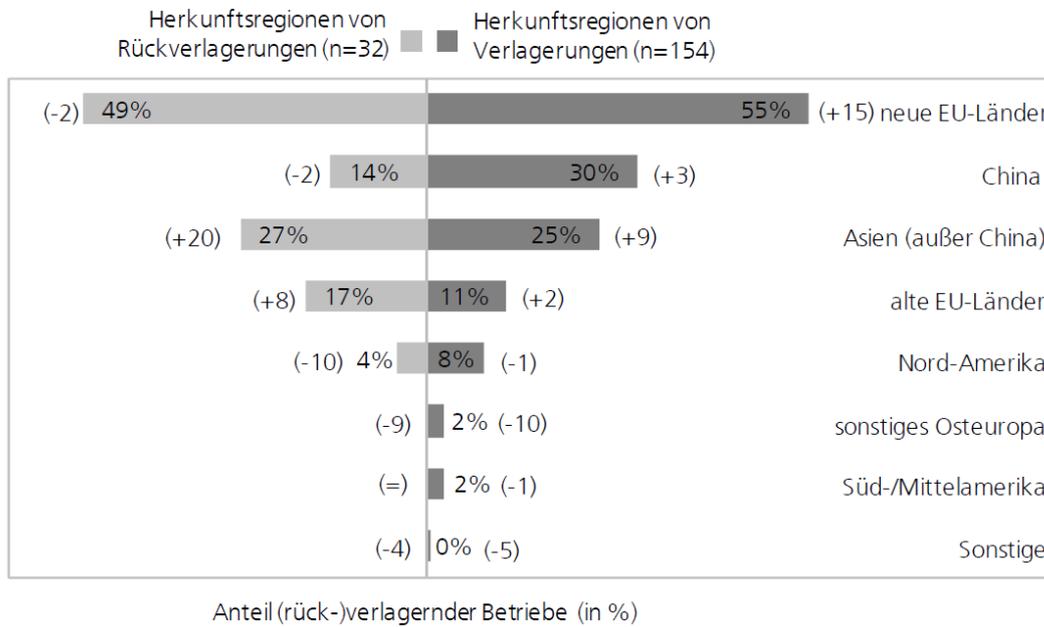
Über die einzelnen Branchen hinweg gibt es starke Unterschiede, was den Anteil der Verlagerungsaktivitäten anbelangt. Am größten ist der Anteil bei Herstellern von DV-Geräten, elektronischen Geräten und Optik und im Textil-, Bekleidungs- und Leder-gewerbe (mit jeweils 17 Prozent) sowie bei Herstellern elektrischer Ausrüstung (15 Prozent). Im Fahrzeugbau liegt der Anteil bei 13 Prozent und im Maschinenbau bei 12 Prozent. Vor allem in Branchen mit hohem Anteil an manuellen Tätigkeiten sind umfassendere Verlagerungsaktivitäten zu verzeichnen (Zanker et al. 2013).

Nach Zanker et al. (2013) sind mehrheitlich (55 Prozent) die neuen EU-Länder Ziel der Verlagerungsaktivitäten deutscher Unternehmen (Abbildung AII-1.1–4).⁴⁰ In 30 Prozent der Fälle ist das Zielland China oder mit einem Anteil von 25 Prozent andere asiatische Länder. Gegenüber der Erhebungsrunde 2009 haben die drei genannten Zielregionen/-länder sogar nochmals einen Zuwachs verzeichnet: Weitere 15 Prozent der Betriebe haben sich für eine Verlagerung in neue EU-Länder entschieden, nochmals 3 Prozent für China und 9 Prozent zusätzlich für weitere asiatische Länder. Den größten Rückgang verzeichnen osteuropäische Länder außerhalb der EU mit 10 Prozent auf nunmehr 2 Prozent. Zanker et al. (2013) ziehen hieraus den Schluss, dass deutsche Betriebe sehr flexibel auf sich verändernde Marktanforderungen reagieren (Zanker et al. 2013).

Mit am interessantesten sind die Gründe für die Verlagerung. Wie zu vermuten war, ist eine Verringerung der Personalkosten als mit Abstand wichtigstes Motiv für Produktionsverlagerungen ins Ausland zu sehen (vgl. Abbildung AII-1.1–4). Dies geben 71 Prozent der verlagernden Betriebe an, was jedoch gegenüber der letzten Erhebung einen Rückgang um 6 Prozent bedeutet. An zweiter und dritter stellen folgen die Markterschließung durch eine Präsenz vor Ort sowie eine größere Nähe zum Kunden mit 28 bzw. 26 Prozent. Die Nähe zu bereits verlagerter Produktion folgt mit 23 Prozent vor einem verbesserten Zugang zu Rohstoffen mit 15 Prozent. Den größten anteilmäßigen Rückgang verzeichnen geringere Abgaben, Steuern oder Subvention als Argument für Verlagerung: 12 Prozent in der Erhebung von 2009 stehen 9 Prozent in 2012 gegenüber. Weitere Motive für Verlagerung sind Importbeschränkungen und Personal-mangel (11 Prozent und 9 Prozent) sowie Präsenz der Konkurrenz (ebenfalls mit 9 Prozent). Kaum eine Rolle spielt mit 1 Prozent Wissensgewinn.

40 Abbildung AII-1.1–4 gibt den Anteil der Betriebe wieder, die die jeweilige Region als Ziel- bzw. Herkunftsregion der zurückliegenden (Rück-)Verlagerungsaktivitäten zwischen 2010 und 2012 nannten. Die Vergleiche geben die Differenz zu den vergleichbaren Anteilen für den Zeitraum 2007 bis 2009 wieder. Bei der Interpretation der Daten ist zu beachten, dass Betriebe mehrere Ziel-/Herkunftsregionen angaben, wenn im abgefragten Zeitraum mehrere Produktionsverlagerungen stattfanden.

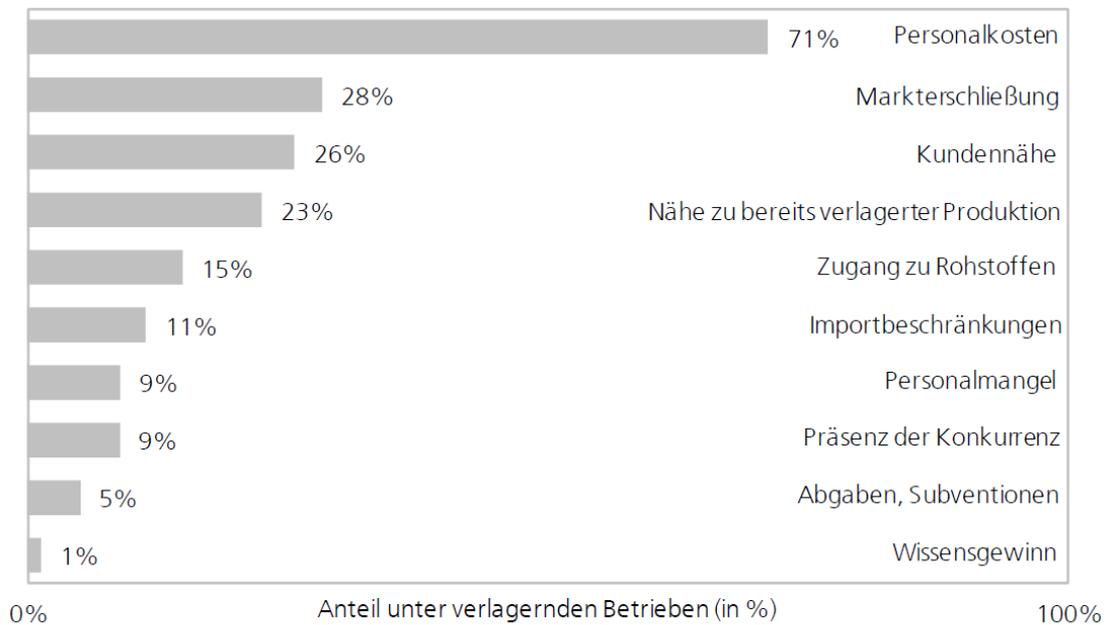
Abbildung AII-1.1–4: Herkunftsregionen von Rückverlagerungen und Zielregionen von Verlagerungen. Mehrfachnennungen möglich



Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Quelle: Zanker et al. 2013, S. 4

Abbildung AII-1.1–5: Motive für Produktionsverlagerungen ins Ausland. Mehrfachnennungen möglich



Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Quelle: Zanker et al. (2013)

Jäger et al. (2015) untersuchen in ihrer Studie die ökonomischen Auswirkungen von Robotik-Systemen auf europäischer Ebene, basierend auf Auswertungen der Erhebung *Modernisierung der Produktion 2009* sowie des *European Manufacturing Survey 2009*. Eines der Kernergebnisse ist, dass Unternehmen, die Roboter nutzen, seltener Verlagerungsaktivitäten durchführen. Die Wahrscheinlichkeit für eine Verlagerung ist bei der Nutzung von Robotik-Systemen um 4 Prozent geringer, bei intensiver Roboternutzung sogar um 8 Prozent. Es wird davon ausgegangen, dass Unternehmen, die Roboter einsetzen, eher in der Lage sind, Größenvorteile zu realisieren als Nichtnutzer. Das erlaubt es ihnen, Produktionsprozesse mit hoher Produktivität und Profitabilität auch in Hochlohnländern umzusetzen (Jäger et al. 2015).

AII-1.2 Rückverlagerungsaktivitäten

Das Phänomen der Rückverlagerung findet in zunehmendem Umfang Beachtung in Politik und Wissenschaft (Kinkel 2012). Auf politischer Ebene wächst das Interesse an diesem Phänomen, weil damit positive Erwartungen verknüpft werden können. So z. B., dass mit wachsenden Rückverlagerungsaktivitäten in das eigene Land die Wettbewerbsfähigkeit erhöht werden kann und damit Arbeitsplätze geschaffen werden (Kinkel 2014). Es gibt zahlreiche Studien, die sich mit der Entwicklung, dem Umfang, den Gründen und den Risiken von Rückverlagerung auf globaler, amerikanischer, europäischer aber auch nationaler Ebene auseinandersetzen (Arlbjørn und Stegmann 2014, Dachs et al. 2012, Ellram 2013, Ellram et al. 2013, Fratocchia et al. 2014, Pisano und Shih 2012, Gray et al. 2013, Heim et al. 2014, Kinkel 2012, 2014, Kinkel und Maloca 2008, 2009, Margulescu und Margulescu 2014, Tate 2014, Zanker et al. 2013).

Eine Zusammenfassung der Erkenntnisse zu Rückverlagerungsaktivitäten von Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland bietet die Arbeit von Kinkel (2014). Zwischen 2010 und Mitte 2012 verlagerten 2 Prozent aller deutschen Betriebe Produktionskapazitäten zurück nach Deutschland (Abbildung AII-1.1–1), was ca. 400 bis 700 Betrieben jährlich entspricht (Zanker et al. 2013). Seit Anfang der 1990er-Jahre ist ein leichter aber kontinuierlicher Rückgang von Rückverlagerungsaktivitäten zu verzeichnen. Kinkel (2014) konstatiert dabei einen Zeitverzug von zwei bis vier Jahren, der zwischen Verlagerung und Rückverlagerung liegt. Kinkel und Maloca (2009) sehen Rückverlagerung daher überwiegend als kurzfristige Korrektur von falsch getroffenen Standortentscheidungen und weniger als längerfristige Reaktion auf (lokale) Entwicklungstrends. Vor dem Hintergrund, dass der Anteil der befragten Betriebe, der Produktionskapazitäten ins Ausland verlagert, seit Mitte der 1990er stark gesunken ist, nämlich von über einem Viertel der befragten Unternehmen auf 8 Prozent, ist der Anteil der Rückverlagerungsaktivitäten als sehr beachtlich zu bewerten (Kinkel 2014).

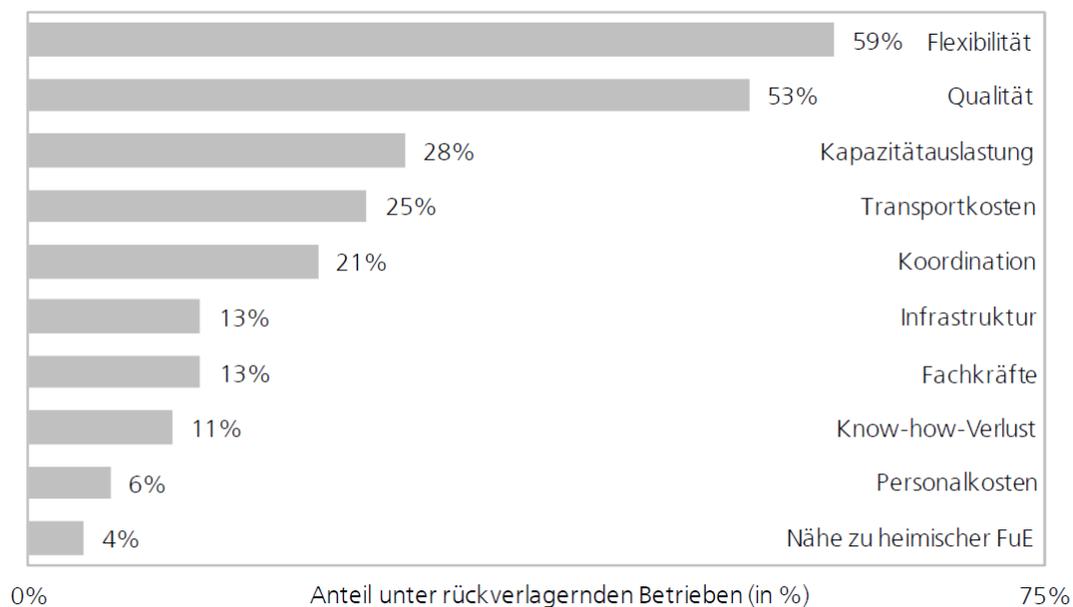
Mit einem Anteil von 49 Prozent sind die meisten Rückverlagerungen aus den neuen EU-Ländern erfolgt, wobei dieser Anteil gegenüber der letzten Erhebung (2009) um 2 Prozent abgenommen hat (Abbildung AII-1.1–4). An zweiter Stelle liegen interessanterweise Rückverlagerungen aus Asien, China ausgenommen, mit einem Anteil von 27 Prozent. Dieser Anteil hat sich innerhalb der letzten drei Jahre fast vervierfacht, was den Rückschluss zulässt, dass der Standort die Erwartungen nicht erfüllt hat. Danach folgen alte EU-Länder (EU 15) mit 17 Prozent und China mit einem Anteil von 14 Prozent aller Rückverlagerungen. Rückverlagerungen aus Nordamerika spielen mit 4 Prozent zwischen 2010 und 2012 anteilmäßig eine sehr geringe Rolle; im Zeitraum 2007 bis 2009 lag der Anteil noch bei 14 Prozent. Stellt man Verlagerungen und Rückverlagerungen einander gegenüber, so lässt sich vermuten, dass insbesondere Verlagerungen nach China und in die USA aufgrund langfristiger, strategischer Entscheidungen durchgeführt werden. So steht in China einem um 3 Prozent gestiegener Verlagerungsanteil ein um 2 Prozent gesunkener Rückverlagerungsanteil gegenüber. Die USA als Zielland für Verlagerungen verloren zwar 1 Prozent, der Anteil an Rückverlagerungen aus den USA ging jedoch mit 10 Prozent deutlich zurück (Zanker et al. 2013).

Vorangegangene Auswertungen der Erhebung *Modernisierung der Produktion* legten „unterschätzte Kosten für die Verlagerung, hohe Lohndynamiken am ausländischen Standort, niedrige Produktivität oder schlechte Qualität“ als wesentliche Gründe für Rückverlagerung offen (Zanker et al. 2013). Basierend auf der Befragungsrunde von 2012 werden als Hauptgrund für Rückverlagerung bei 59 Prozent aller Nennungen Flexibilitätseinbußen durch die vorhergehende Verlagerung genannt (Abbildung AII-1.2–1). Nach Zanker et al. (2013) bestätigt dies die allgemeine Entwicklung, welche immer höhere Flexibilität von den Unternehmen fordert. Direkt danach folgen mit 53 Prozent Qualitätsprobleme am Auslandsstandort. Eine mangelnde Kapazitätsauslastung des auswärtigen Produktionsstandorts geben 28 Prozent der Betriebe als Grund an, zu hohe Transport- bzw. Koordinationskosten spielen für 25 bzw. 21 Prozent der Betriebe eine bedeutende Rolle. Den größten Bedeutungsrückgang als Motiv für Rückverlagerung haben Personalkosten zu verzeichnen. Von einem Drittel im Zeitraum 2007 bis 2009 ist ihr Anteil auf 6 Prozent in der Zeit von 2010 bis 2012 gesunken. Dies lässt vermuten, dass sich die Lohnkosten in den Hauptzielländern für Verlagerungen (neue EU-Länder, Asien inklusive China) nach der Wirtschaftskrise moderat entwickelt haben (Zanker et al. 2013). Jeweils 13 Prozent der rückverlagernden Betriebe geben fehlende oder schlecht ausgebaute Infrastruktur und mangelhaft ausgebildete Fachkräfte als Motiv an. Know-how-Verlust (11 Prozent) und die Nähe zur heimischen Forschungs- und Entwicklungsabteilung (4 Prozent) spielen ebenfalls nur eine untergeordnete Rolle.

Kinkel (2014) bewertet es abschließend als unwahrscheinlich, dass Rückverlagerungsaktivitäten von Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes zurück in ein (Heimat-)

Hochlohnland wesentlich zur Wiederherstellung der Wettbewerbsfähigkeit beitragen können. Als Hauptgrund führt er an, dass das Wiedererlernen bzw. Wiederaufbauen von Produkt- und Prozesskompetenzen mit sehr großem Aufwand verbunden ist, wenn nicht sogar unmöglich. Außerdem führt dies bestenfalls zu einer aufholenden statt zu einer führenden Wettbewerbsposition. Daher empfiehlt Kinkel (2014), sich auf die nächste Generation der Produkt- und Prozesstechnologie zu konzentrieren. Trotz allem stellt Rückverlagerung durchaus eine angemessene Reaktion auf sich rasch wandelnde globale Märkte dar und ermöglicht es beispielsweise, eine hohe Auslastung der heimischen Produktion sicherzustellen (Kinkel 2014).

Abbildung AII-1.2–1: Motive für Rückverlagerungen von Produktionskapazitäten aus dem Ausland nach Deutschland



Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Quelle: Zanker et al. (2013)

AII-1.3 Fazit

Zusammenfassend lassen sich folgende Erkenntnisse zu Verlagerungsaktivitäten im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland festhalten:

1. Die *Verlagerungsaktivitäten* der Industrie sind seit Ende der 1990er-Jahre kontinuierlich zurückgegangen. Nur noch jeder zwölfte Betrieb verlagerte im Zeitraum von zwei Jahren (Teile der) Produktionsaktivitäten.
Betriebe bauen zwar weiter im Ausland Produktionskapazitäten auf, jedoch weniger zu Lasten heimischer Produktionsstandorte und mit größerer Vorsicht im Hinblick auf zahlreiche Risiken und durch gemachte Erfahrungen.
Es werden hauptsächlich standardisierte Prozesse und die Produktion reifer Produkte ins Ausland verlagert.
2. Vor allem große und sehr große Betriebe haben *Produktionskapazitäten im Ausland*. Im Schnitt verfügt nur jeder achte Betrieb über ausländische Produktionsstandorte. Wenn Betriebe im Ausland aktiv sind, liegt der Anteil der Produktionskapazitäten im Ausland im Schnitt bei über einem Drittel.
Kleine Betriebe sind deutlich seltener global aufgestellt. Wenn sie im Ausland über Produktionskapazitäten verfügen, haben sie dann meist den Großteil ihrer Produktion im Ausland.
3. Die neuen EU-Länder (Beitritt ab 2004), China und Asien sind die häufigsten *Verlagerungsziele* und die Ziele mit dem größten Zuwachs.
4. Die Verringerung von Personalkosten ist weiterhin wichtigstes *Motiv für Produktionsverlagerungen* ins Ausland, hat jedoch in den letzten Jahren etwas an Bedeutung verloren.
Die Motive Markterschließung und Kundennähe hingegen werden immer häufiger als Verlagerungsgrund genannt. Für die Zukunft ist daher denkbar, dass Unternehmen regional spezialisierte Engineering- und Produktionskompetenzen in wichtigen Märkten auf- oder ausbauen, um komplexe und anfällige globale Supply Chains zu vermeiden (Kinkel 2014).
5. *Roboternutzer* verlagern seltener als Unternehmen, die keine Roboter nutzen. Roboternutzer scheinen eher in der Lage zu sein, wettbewerbsfähige und hochproduktive Produktionsprozesse auch in Hochlohnländern umzusetzen.

Folgende Erkenntnisse lassen sich zu Rückverlagerungsaktivitäten im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland festhalten:

1. Auch bei den *Rückverlagerungsaktivitäten* ist ein leichter aber kontinuierlicher Rückgang zu verzeichnen. Dies kann als kurzfristige Korrektur von Standortentscheidungen interpretiert werden. Ein relevanter Anteil an Rückverlagerung

von Produktionskapazitäten kann eher als Korrektur falsch getroffener Standortentscheidungen gesehen werden und weniger als strategische Reaktion auf (lokale) Entwicklungstrends.

2. Rückverlagerungen aus asiatischen *Ländern*, außer China, haben stark zugenommen, was darauf schließen lässt, dass der Standort die Erwartungen nicht erfüllen konnte. Verlagerungen in die USA und nach China stehen relativ geringe Rückverlagerungsquoten gegenüber, was auf langfristige, strategische Verlagerungsentscheidungen hinweist.
3. Flexibilitätseinbußen, mangelnde Qualität und zu geringe Kapazitätsauslastung sind die *Hauptmotive für Rückverlagerungen*, wohingegen auftretende Lohndynamiken stark an Bedeutung verloren haben.

Anhang III: Erhebungsdaten zu Spezialisierungen in der Robotik

Anhang AIII-1: Publikationen zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldfeldern für verschiedene Zeiträume

	I n d u s t r i e	S e r v i c e g e w .	C h i r u r g i e	S e r v i c e p r i v .	S e n s o r i k	A u g m . R e a l i t y	A u t o n o m	A v a n c . B e d .	M e n m a c h i n e	S e l b s t k o n f i g .	R o b o t i k g e s .	G e s a m t L a n d
09-13												
Welt	5593	3863	8706	98	5564	709	2590	4037	1354	128	31528	8287741
DE	318	230	500	5	392	66	219	226	115	10	1991	582167
JP	355	196	264	12	438	33	150	235	98	7	1771	469860
KR	460	261	555	11	479	34	144	315	74	7	2010	272757
US	1282	1207	4203	11	1412	177	715	692	357	38	9691	2315302
CN	982	492	290	12	709	64	263	618	192	30	3607	1009766
SE	76	44	97	2	71	9	32	61	22	2	374	128649
GB	320	232	518	6	363	58	190	221	99	12	1994	615589
FR	258	180	385	5	266	38	135	183	83	6	1494	403368
00-04												
Welt	2780	1339	1373	56	2123	320	1136	2119	618	55	12223	5512641
DE	171	105	192	5	174	47	114	113	55	2	967	434881
JP	270	83	57	15	251	26	132	199	103	12	1171	448784
KR	172	42	7	2	111	6	34	118	24	2	513	116598
US	733	509	749	13	653	78	348	622	217	26	3833	1834248
CN	141	50	5	0	95	13	24	142	16	4	599	266748
SE	29	18	5	0	44	6	21	48	11	0	176	94549
GB	227	109	172	2	147	21	95	128	35	2	956	467498
FR	107	63	95	2	108	33	57	152	32	3	671	312136
91-95												
Welt	2516	904	103	7	4300	197	511	138	266	26	15149	4063390
DE	91	61	12	0	113	5	50	5	22	4	547	288906
JP	223	68	5	3	185	18	62	17	38	2	847	317451
KR	65	17	0	0	40	4	14	4	8	1	278	24733
US	797	337	44	1	956	96	188	46	97	11	4747	1438401
CN	26	10	0	0	41	6	7	5	1	1	238	58906
SE	23	13	1	0	54	1	2	0	1	0	192	68093
GB	254	107	18	0	413	14	36	4	24	1	1393	360717
FR	105	44	6	1	92	15	34	6	13	0	724	230654

Quelle: Scisearch (STN), eigene Berechnungen

Anhang AIII-2: Spezialisierungen bei Publikationen zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldfedern, 2009-2013

	I n d u s t r i e	S e r v i c e g e w .	C h i r u r g i e	S e r v i c e p r i v .	S e n s o r i k	A u g m . R e a l i t y	A u t o n o m	A v a n c . B e d .	M a n a c h i n e	S e l b s t k o n f i g .	R o b . g e s .
DE	-21	-16	-20	-31	0	27	18	-22	19	11	-11
JP	11	-11	-56	65	32	-19	2	3	24	-4	-1
KR	72	62	58	84	74	36	48	70	47	47	58
US	-20	11	50	-72	-10	-11	-1	-45	-6	6	10
CN	35	4	-86	0	4	-29	-18	22	15	57	-6
SE	-13	-30	-32	27	-19	-20	-22	-3	5	1	-26
GB	-26	-21	-22	-19	-13	10	-1	-30	-2	23	-16
FR	-5	-4	-10	5	-2	10	7	-7	23	-4	-3

Quelle: Scisearch (STN), eigene Berechnungen

Anhang AIII-3: Transnationale Patente zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldfedern für verschiedene Zeiträume

	I n d u s t r i e	S e r v i c e g e w .	C h i r u r g i e	S e r v i c e p r i v .	S e n s o r i k	A u g m . R e a l i t y	A u t o n o m	A v a n c . B e d .	M e n m a c h i n e	S e l b s t k o n f i g .	R o b . G e s .	G e s a m t L a n d
09-13												
Welt	1214	2333	1055	442	1367	486	370	293	196	461	8982	1095632
DE	337	324	104	35	211	48	35	65	38	62	1455	153005
JP	272	352	132	46	311	125	53	84	33	65	2094	222471
KR	27	141	77	154	64	34	25	13	1	17	669	67850
US	292	739	577	87	449	186	162	106	56	190	2611	329549
CN	96	139	38	70	87	29	9	34	11	31	624	122693
SE	16	110	7	21	49	5	11	5	6	24	286	21049
GB	29	56	25	20	51	18	19	7	5	17	218	45677
FR	73	134	36	8	82	26	23	10	31	30	469	61836
00-04												
Welt	1021	1564	302	139	1128	297	101	446	102	118	5178	792960
DE	300	248	25	15	209	28	5	72	18	11	918	135049
JP	213	216	40	21	175	107	23	183	10	17	1217	143753
KR	6	15	3	22	31	12	7	11	1	1	124	23319
US	195	608	163	38	455	83	42	125	38	59	1541	266324
CN	4	11	3	2	9	3	1	3	0	3	49	16510
SE	52	47	6	6	35	9	5	24	6	8	208	15351
GB	26	72	12	10	72	18	2	7	8	7	193	44164
FR	78	83	20	10	48	17	9	14	16	4	310	49053
91-95												
Welt	502	590	81	38	324	82	19	99	63	7	1994	367626
DE	111	88	13	6	46	9	4	11	6	1	334	66719
JP	131	75	8	8	68	19	3	35	17	0	459	61467
KR	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	6	1959
US	119	182	39	14	118	30	3	33	16	2	512	123930
CN	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	538
SE	12	13	0	1	7	1	1	3	0	0	57	8030
GB	12	19	4	1	17	8	1	3	1	1	70	23226
FR	45	37	8	4	26	9	2	8	8	0	173	27644

Quelle: WPI (STN), eigene Recherchen

Anhang AIII-4: Spezialisierungen bei Transnationalen Patenten zur Robotik nach ausgewählten Ländern und Teilfeldfedern, 2009-2013

	I n d u s t r i e	S e r v i c e g e w .	C h i r u r g i e	S e r v i c e p r i v .	S e n s o r i k	A u g m . R e a l i t y	A u t o n o m	A v a n c . B e d .	M a c h i n e	S e l b s t k o n f i g .	R o b . G e s .
DE	60	-1	-33	-51	10	-33	-37	43	32	-4	15
JP	10	-29	-45	-58	11	23	-34	33	-19	-35	14
KR	-77	-2	16	94	-27	12	9	-32	-99	-48	18
US	-22	5	54	-40	9	24	36	18	-5	30	-3
CN	-33	-56	-81	33	-51	-56	-91	4	-60	-47	-44
SE	-36	72	-79	72	55	-55	41	-12	43	76	47
GB	-51	-50	-51	8	-11	-12	21	-51	-46	-12	-49
FR	6	2	-46	-81	6	-5	10	-46	77	14	-8

Quelle: WPI (STN), eigene Berechnungen und Recherchen