

# Industrie 4.0: Perspektiven für Arbeit und Beschäftigung

»Industrie 4.0« ist zu einem Kernthema der Industrie- und Innovationspolitik geworden. Es verheißt nichts weniger als eine neue industrielle Revolution, und zwar den nunmehr bereits vierten epochalen Umbruch der Sachgütererzeugung: Nach der Mechanisierung der Produktion durch Dampf- und Wasserkraft (Industrie 1.0) folgten die Elektrifizierung mit dem Ausbau der Fließbandproduktion (Industrie 2.0) und die automatisierte Massenfertigung mithilfe von Elektronik und numerischer Kontrolle (Industrie 3.0). Die digitale, intelligente, vernetzte und selbststeuernde Produktion definiert nun den vierten Schritt zu Industrie 4.0. Ermöglicht wird dies durch die Verschmelzung von Produktionstechniken mit Informationstechnologien (IT) und Internet.

Der in Deutschland im Jahr 2011 geprägte Begriff Industrie 4.0 (im Folgenden kurz I 4.0) ist eng verwandt mit Konzepten wie »Smart Production« oder »Industrial Internet« im englischsprachigen Raum. Gemeint ist vor allem eine umfassende digitale Vernetzung industrieller Wertschöpfungsketten. Technische Grundlage sind das »Internet der Dinge« bzw. sogenannte cyberphysische Systeme. Die Vision: Intelligente Maschinen und Werkstücke tauschen untereinander Informationen in Echtzeit aus und steuern sich selbstständig; physische und digitale Systeme verschmelzen zu einem durchgängigen und flexiblen Netzwerk. Von I 4.0 versprechen sich deren Verfechter vor allem eine Steigerung der Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit. Sie ist damit ein Schlüssel zu der auch auf EU-Ebene angestrebten Reindustrialisierung.

Die mit I 4.0 einhergehenden Veränderungen, insbesondere der Automatisierungsschub und neue Geschäftsmodelle, können von grundsätzlicher Natur sein und bringen daher ein breites Spektrum wirtschaftlicher und sozialer Herausforderungen mit sich (Hirsch-Kreinsen et al. 2015). I 4.0 stellt auch jene Unternehmen vor neue Herausforderungen, die bereits seit vielen Jahrzehnten Erfahrung mit neuer Automatisierungstechnik haben. »Die qualitativ neue Anforderung besteht darin, wettbewerbstaugliche I-4.0-Lösungen und gute – d. h. qualifizierte, lernförderliche und gesundheitserhaltende – Arbeit in der Produktion und im Engineering zu gestalten« (Pfeiffer 2015, S. 5).

Noch sind viele Fragen offen: Dazu gehören vor allem die notwendige, aber noch ausstehende Standardisierung von Schnittstellen für den reibungslosen Informationsaustausch zwischen verschiedenen Systemen, Unternehmen und Branchen sowie der Umgang mit steigenden Sicherheitsrisiken. Auch die Auswirkungen auf Arbeit und Beschäftigung sind bislang noch unklar. I 4.0 verlangt nach neuen Qualifikationen und kann neue Arbeitsplätze schaffen, allerdings ist auch zu erwarten, dass mit der Steigerung der Effizienz und Automatisierung viele, vor allem niedrigqualifizierte Stellen wegfallen. In diesem Beitrag wird versucht, anhand des gegenwärtigen Forschungsstandes Gestaltungsoptionen bei der Umsetzung von I 4.0 zu beleuchten und eine erste Abschätzung möglicher Auswirkungen auf die Bereiche Arbeit, Beschäftigung und Qualifizierung vorzunehmen.

## Wirtschaftliche und technische Grundlagen

International konkurrenzfähige Produkte herzustellen und laufend Produktivitätssteigerungen zu erzielen sind im gegenwärtigen Wirtschaftsmodell zentrale Voraussetzungen für Wirtschaftswachstum und Wohlstandssicherung. Europas wirtschaftliche Zukunft ist auf absehbare Zeit eng mit dem Erfolg seiner Industrie verknüpft, und die Sachgütererzeugung ist nach wie vor eine unverzichtbare Basis für Beschäftigung und Wertschöpfung am europäischen Standort. Dieser Befund

spiegelt sich auch in dem 2012 von der EU-Kommission formulierten Ziel wider, den Wertschöpfungsanteil der Sachgütererzeugung EU-weit von durchschnittlich 15 auf 20 % zu heben und die Reindustrialisierung Europas voranzutreiben. Zusammen mit den damit verbundenen Dienstleistungsarbeitsplätzen spielt die Industrie auch eine zentrale Rolle für die Beschäftigung. Im Zuge der Globalisierung sind allerdings Arbeitsplätze zunehmend in Regionen mit niedrigeren Lohnniveaus abgewandert. Mit der Vision von I 4.0 verbindet sich auch die Erwartung, diesen Trend zu stoppen und Wertschöpfung ebenso wie Arbeitsplätze wieder nach Europa zurückzuholen.

In technischer Hinsicht schließlich liefert ein ganzes Bündel von neueren Entwicklungen die Basis für I 4.0: Dazu gehören z. B. Leistungssteigerungen bei Prozessoren, Speichern und Sensoren, die Ausstattung einzelner Komponenten bis hin zum fertigen Produkt mit Chips und deren Vernetzung. So entstehen weitgehend selbstgesteuerte Systeme mit lernfähigen Industrierobotern, in denen Menschen, Maschinen, Sensoren, Werkstücke und Produkte untereinander kommunizieren, z. B. durch berührungslose Kontakte mittels Funkwellen (Radio Frequency Identification [RFID]). Big-Data-Verfahren erlauben neuartige Datenanalysen, etwa um selbsttätig Maschinenwartung anzustoßen. Hinzu kommt der Zugriff auf Daten mithilfe neuer, mobiler Schnittstellen und visueller Darstellung von Informationen. Virtuelles Design und digitale Modellierung von Produkten und Prozessen sowie die Weiterentwicklung des 3-D-Drucks und anderer dezentraler Produktionstechnologien verkürzen den Weg vom Entwurf zum fertigen Produkt.

## Industrie 4.0 – Hoffnungsträger mit Ungewissheiten

Mit I 4.0 werden nicht nur große Hoffnungen verknüpft, den Rückgang des Industrieanteils an der europäischen

Abb. 1 Pilotraum Industrie 4.0 bei Infineon Austria in Villach



Quelle: © Infineon Technologies Austria AG

Wirtschaftsleistung zu stoppen bzw. umzukehren. Potenziale für positive wirtschaftliche Effekte von I 4.0 werden de facto in allen Industriezweigen gesehen, wenngleich die Nutzenerwartungen je nach Branche unterschiedlich ausfallen. Eine Umfrage unter Industriebetrieben in Deutschland zeigte beispielsweise, dass die erwarteten Umsatzsteigerungen in Branchen mit komplexen (diskreten) Produkten und vielseitigen Kundenspezifikationen wie der Automobilindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Elektro-/Elektronikindustrie sowie der IKT-Industrie deutlich höher ausfallen als etwa in der Prozessindustrie.

Das I-4.0-Konzept erscheint bislang in erster Linie als ein zentrales Thema für die großen internationalen Leitbetriebe. Trotzdem geht es darüber hinaus auch für kleine und mittlere Unternehmen um die Frage, inwieweit die Digitalisierung ihrer Produkte und Dienstleistungen und die Integration ihrer Wertschöpfungsketten eine zunehmend entscheidende Rolle für den wirtschaftlichen Erfolg spielen werden.

Die positiven Erwartungen ergeben sich zum einen aus Kostenreduktionen für Ressourcen (finanzielle, humane und materiel-

le), denen aber hohe Anfangsinvestitionen gegenüberstehen. Zum anderen wird von I 4.0 erwartet, dass die Optimierung von Effizienz und Produktivität während des Betriebs laufend stattfindet, und zwar sowohl innerhalb des Unternehmens als auch über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk. Durch individualisierte Produktion, Flexibilität und hohe Qualitätsstandards soll die Wettbewerbsfähigkeit in Hochlohnländern wie Deutschland gesteigert werden. Die digitale Vernetzung eröffnet auch neue Möglichkeiten für Geschäftsmodelle und Dienstleistungen. Zudem lässt der höhere Bedarf an zukunftsweisenden I-4.0-Anwendungen eine positive Marktentwicklung für die Fabrikaussteller bzw. Anbieter der für die Umsetzung von I-4.0-Konzepten notwendigen Komponenten erwarten.

Bei aller Euphorie über die Möglichkeiten, die I-4.0-Konzepte versprechen, besteht ein hohes Maß an Unsicherheit im Hinblick auf weitere Effekte, die eine Einführung von I 4.0 nach sich ziehen könnte. Zu den besonders im Blickpunkt stehenden Fragen zählen die Herausforderungen für Aus- und Weiterbildung sowie die Auswirkungen auf die Beschäftigung und die Natur der Arbeit. Um die Bandbreite an möglichen Auswirkungen, Chan-

cen und Risiken sowie Handlungsoptionen abschätzen zu können, sind bereits in einem frühen Stadium der Umsetzung begleitende Analysen erforderlich. Diese sollten es erleichtern, die Entwicklung hin zu I 4.0 mit entsprechenden strategischen Zielen und flankierenden Maßnahmen in einer für die Gesellschaft als Ganzes gelieblichen Weise zu gestalten.

### Herausforderungen für Aus- und Weiterbildung

Als systemische Innovation bedingt I 4.0 einen umfassenden Wandel der Arbeitsprozesse und Anforderungen. Für den Übergang zu I 4.0 und den erfolgreichen Betrieb von digital vernetzten, selbstgesteuerten Produktionssystemen werden geeignete Qualifikationen eine zentrale Rolle spielen. Entwicklung, Einführung, Betrieb und Kontrolle komplexer Fertigungsverfahren auf Basis datengetriebener Prozesse und neuer Geschäftsmodelle verlangen neue Fähigkeiten und Kompetenzen (Fidler 2015; Strategy&PwC 2014). Herausforderungen bestehen vor allem in der Bewältigung eines möglichen Mangels an adäquat qualifizierten Beschäftigten für die Einführung und den Betrieb der neuen Produktionssysteme. Damit stehen auch die Aus- und Weiterbildungsangebote der unterschiedlichen Bildungsstufen sowie der Betriebe auf dem Prüfstand.

Die Konvergenz von mechanischen, elektronischen und softwarebasierten Komponenten, die neue Rolle umfassender Datenanalyse, der vermehrte Einsatz von Robotik, die signifikant steigende Komplexität sowie der dynamische Wandel von I-4.0-Systemen bedingen stark veränderte Anforderungen. Generell wird in den Anwendungsfeldern von I 4.0 technischen Qualifikationen eine verstärkte Bedeutung zukommen. Dazu zählen vor allem vertiefte bzw. umfassendere IKT-Kenntnisse, Kompetenzen zur Gestaltung komplexer Innovationsprozesse und zur interdisziplinären Entwicklung von Produktionssystemen (IT- und Fertigungs-

technik) sowie Fähigkeiten zur Kommunikation mit Maschinen und vernetzten Systemen. Prognostiziert wird ein steigender Bedarf an mathematischen, naturwissenschaftlichen und technischen Vorkenntnissen, an Softwareentwicklern und Datenanalysten (Strategy&/PwC 2014, S. 37 f.) sowie an Fachkräften im Bereich Automatisierungstechnik (Operational Technology) (Dirnberger 2015) bzw. der rechnergesteuerten Überwachung eines Systems (Maschine, Werkzeug, Kraftwerk etc.). Die Fähigkeit, Interaktionen zwischen virtuellen und realen (cyberphysischen) Systemen (CPS) zu organisieren und zu koordinieren, gewinnt an Bedeutung (Forschungsunion/acatech 2013, S. 55 f.; Ovtcharova et al. 2014, S. 56).

Zentrale Herausforderung dabei ist, die Off- und die Onlineseite von CPS in deren Gestaltung und im täglichen Betrieb aufeinander beziehen zu können (Pfeiffer 2015, S. 34). Es geht hier um das erfahrungsbasierte Verständnis der Verbindungen zwischen stofflich-physischen und digital-immateriellen Vorgängen; etwa zu wissen, dass ein in einer laufenden Maschine eingebauter Sensor aufgrund konkreter Umgebungseinflüsse wie Verschmutzung, Vibration oder Verschleiß falsche Werte liefern kann, obwohl er ordnungsgemäß misst. Qualifikationsstrategisch ist dem durch entsprechende Vermittlung zwischen reinen IT-Kompetenzen und produktionstechnischem Fachwissen Rechnung zu tragen. Vieles spricht für eine »Integration von IT-Inhalten in bestehende mechanische, elektronische oder mechatronische Ausbildungsgänge« und in neue hybride Berufsprofile von Facharbeitern (Pfeiffer et al. 2016, S. 91 ff.). Theoretisch-fachliche Kompetenzen mit Erfahrung und Praxiswissen lösungsorientiert zu verknüpfen, wird daher ein sehr hoher Stellenwert zukommen. Zudem gewinnen überfachliche Schlüsselqualifikationen an Bedeutung, die dabei helfen, den Umstellungsprozess zu bewältigen und für einen reibungslosen Systembetrieb zu sorgen. Dazu zählen Lernbereitschaft, Teamfähigkeit, Flexibilität, Problema-

analyse- und Problemlösungsfähigkeiten sowie Management- und Projektsteuerungskompetenzen. Mit zunehmender Interdisziplinarität, Vernetzung und Kommunikation steigt auch der Bedarf an sozialen Fähigkeiten (Forschungsunion/acatech 2013, S. 55; Hirsch-Kreinsen 2014, S. 38; Ovtcharova et al. 2014, S. 50), an Überblickswissen und Verständnis für das Zusammenspiel aller Akteure im Produktionsprozess (Forschungsunion/acatech 2013, S. 59).

Insgesamt sind Aus- und Weiterbildungsangebote auf den unterschiedlichen Stufen nötig, um auf den veränderten Qualifikationsbedarf zu reagieren. Dem Management partizipativer Prozesse, arbeitsplatznaher Weiterbildung, einer lernförderlichen Arbeitsorganisation und dem Einsatz digitaler Lerntechnologien (e-Learning, Blended Learning, Augmented Learning) werden dabei eine besondere Bedeutung vor allem im Rahmen der (betrieblichen) Weiterbildung beigemessen (Forschungsunion/acatech 2013, S. 59; Kärcher 2014, S. 25; Spath et al. 2013, S. 126 u. 54). Zugleich geht es um die Innovationsfähigkeit des gesamten Qualifizierungssystems. In sozialer Hinsicht stellen sich Herausforderungen aufgrund des sich verschärfenden Problems der Beschäftigung von Hauptschulabsolventen und ungelernten Arbeitskräften. Weiterhin gilt es, eine neue Distanz zu digitalisierten Arbeitsprozessen zu vermeiden und den Qualifizierungsdruck vor allem für ältere, digital weniger versierte Beschäftigte in verträglicher Weise zu gestalten.

### Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation

Auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 ergeben sich für Unternehmen vielfältige Herausforderungen in Bezug auf die Gestaltung des Zusammenspiels von Mensch und Technik als soziotechnisches System und die zukünftige Arbeitsorganisation. Möglich ist ein breites Spektrum unterschiedlicher Muster von Arbeitsorganisa-

tion, die durch zwei Pole begrenzt werden: Polarisierung von Aufgaben, Qualifikationen und Personaleinsatz (polarisierte Organisation) und größtmögliche Offenheit und Flexibilität auf Basis hoher Qualifikation der Beschäftigten (Schwarmorganisation) (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 39 f.). Wesentliche Determinanten der Arbeitsgestaltung sind einerseits das jeweils verfolgte Automatisierungskonzept (technologiezentriert oder komplementär, d. h. auf eine Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine ausgerichtet), andererseits der Gestaltungs- und Einführungsprozess der neuen Systeme.

Prognostiziert werden »mehr Teams, in welchen Roboter und Menschen zusammenarbeiten« (Spath et al. 2013, S. 46) sowie die Etablierung von »Formen der kollaborativen Fabrikarbeit in virtuell mobilen Arbeitswelten« (Forschungsunion/acatech 2013, S. 27). Deutsche Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau sehen die Prozess- und Arbeitsorganisation als zweitwichtigste Herausforderung nach der Standardisierung (Forschungsunion/acatech 2013, S. 29). So besteht v. a. ein Bedarf zur Abstimmung zwischen der zunehmenden Flexibilität der Produktionsanlagen einerseits und der menschlichen Flexibilität andererseits (Spath et al. 2013, S. 46).

Mit der Etablierung offener, virtueller Arbeitsplattformen und umfassender Mensch-Maschine-Interaktionen werden »Arbeitsinhalte, -prozesse und -umgebungen ... einen erheblichen Wandel erleben – mit Ausstrahleffekten auf Flexibilität, Arbeitszeitregelungen, Gesundheit, Demografie und Lebenswelt« (Forschungsunion/acatech 2013, S. 45). Zu den Chancen für Beschäftigte zählen verstärkte KreativitätSENTFALTUNG, Eigenverantwortung und Selbstorganisation, allerdings um den Preis erhöhter Anforderungen in Bezug auf Komplexitätsbewältigung, Abstraktions-, Kommunikations- und Problemlösungsfähigkeit. Damit verbundene Risiken sind eine belastende Entgrenzung, Flexibilisierung und Intensivierung der



Arbeit, Spannungen zwischen Virtualität und Erfahrungswelt, Entfremdung, mitunter auch Kreativitäts- und Produktivitätsverluste (Forschungsunion/acatech 2013, S. 57) sowie tendenzielle Überforderung bei Störfällen (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 37) und mögliche Gefahren für die Gesundheit. Zu rechnen ist mit zum Teil widersprüchlichen Ausstrahleffekten auf die hierarchische Ebene und indirekte Bereiche sowie mit einer Aufwertung improvisatorisch-experimentellen Arbeitshandelns (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 37 f.).

Zentrale Herausforderung ist die Bewältigung eines disruptiven Wandels von Prozess- und Arbeitsstrukturen. Es geht dabei um die wesentlichen Gestaltungsparameter der Arbeitsorganisation, insbesondere die Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. Rolle des Menschen in zunehmend autonom agierenden Produktionssystemen. Dies betrifft Entscheidungen über das konkrete Automatisierungs- und Einführungskonzept ebenso wie über Qualifikations-, Aufgaben- und Tätigkeitsprofile, die entsprechende Flexibilität, Systemkontrolle und Behebung von Systemstörungen gewährleisten, und zugleich positive Perspektiven für die Beschäftigten ermöglichen.

## Auswirkungen auf die Beschäftigung

Die Auswirkung von I 4.0 auf das Beschäftigungsvolumen ist noch von erheblicher Ungewissheit gekennzeichnet, da von einer Reihe von Entwicklungen abhängig, so etwa vom Grad der Substitution menschlicher Arbeit durch Automatisierung in der Produktion selbst, vom Ausmaß an Zuwächsen von Arbeitsplätzen in anderen Bereichen, von der Lohnkostentwicklung oder vom Erfolg der Betriebe als Lieferanten von Komponenten und Diensten für I 4.0. Für Deutschland schätzen Experten im produzierenden Sektor die Veränderung der Beschäftigung in der Bandbreite von rund 1,5 Mio. Arbeitsplätzen nach oben oder unten, abhängig

von der Entwicklung des Automatisierungsgrads und der Lohnkosten (Spath et al. 2013, S. 46). Unabhängig von I 4.0 wird in jüngeren Studien für die nächsten beiden Dekaden mit der Ersetzung von bis zu 47 % aller Jobs durch Automatisierung in den USA (Frey/Osborne 2013) bzw. 36 % in Finnland (Pajarinen/Rouvinen 2014) gerechnet. Eine analoge Berechnung für Deutschland kommt zu einem differenzierteren und weniger dramatischen Resultat (Bonin et al. 2015, S. 23): »In Deutschland arbeiten 42 % der Beschäftigten in Berufen, die nach Frey und Osborne mit einer hohen Wahrscheinlichkeit in den nächsten 10 bis 20 Jahren automatisierbar sein werden. Genau genommen sind aber Tätigkeiten und nicht Berufe als solche automatisierbar. Berücksichtigt man dies, so sind in Deutschland nur 12 % der Beschäftigten durch Automatisierung betroffen.« Ziemlich sicher dürften jedoch Fabriken in nicht so ferner Zukunft menschenärmer werden, auch wenn neue Arbeitsplätze andernorts entstehen können.

I 4.0 wird sich jedenfalls auf die Beschäftigungsstruktur auswirken. Es wird mit einem Abbau einfacher manueller Tätigkeiten gerechnet, wodurch ein sozial problematischer Ausschluss vor allem von weniger qualifizierten Arbeitskräften einhergehen kann (Forschungsunion/acatech 2013, S. 57). Beim Anteil indirekter Beschäftigung zeichnen sich zwei Tendenzen ab: zum einen Verluste durch Automatisierung von Aufgaben der Planung, Steuerung, Instandhaltung oder Qualitätssicherung, zum anderen komplexitätsbedingt erweiterte und neue Planungsaufgaben bzw. zusätzlicher Bedarf an industrienahen Dienstleistungen (Hirsch-Kreinsen 2014a, S. 38 f.). Zugleich bietet I 4.0 durchaus neue Chancen was die Qualität der Beschäftigung betrifft, einerseits eine qualitative Anreicherung der Arbeit, wie interessantere Arbeitszusammenhänge, stärkere Selbstentfaltung, mehr Entscheidungsspielräume, andererseits aber auch erhöhte Anforderungen durch laufenden Qualifizierungsdruck,

steigende Verantwortung sowie zeitliche und funktionale Entgrenzung mit der Tendenz zur Selbstausbeutung.

Es wird daher eine besondere Herausforderung sein, I 4.0 zu einer qualitativen Verbesserung der Beschäftigung zu nutzen. In Deutschland sind für 30 % der befragten Unternehmen »die unzureichenden Qualifikationen der Mitarbeiter« eine der beiden wichtigsten Herausforderungen für I 4.0 (Strategy&PwC 2014). Im Anlagenbau wird dies von weniger Unternehmen als Problem gesehen (Forschungsunion/acatech 2013, S. 29). Die Frage der Anpassung der Qualifikationen, der Aus- und Weiterbildung wird jedenfalls eine Schlüsselrolle spielen. Darüber hinaus sollten bei absehbarer Zunahme von Automatisierung und Robotereinsatz – begünstigt durch rasanten Preisverfall bei Hard- und Softwarekomponenten – dringend neue Lösungen gefunden werden, die bei einer fortschreitenden Entkopplung von Produktivität und Beschäftigung den überzähligen Arbeitskräften ein Leben in Würde und gesellschaftliche Integration ermöglichen.

Georg Aichholzer

*Dieser Beitrag basiert weitgehend auf Ergebnissen eines Forschungsprojekts, das vom Institut für Technikfolgen-Abschätzung gemeinsam mit dem Austrian Institute of Technology für die österreichische Parlamentsdirektion durchgeführt wurde (Aichholzer et al. 2015a u. 2015b).*

## Literatur

Aichholzer, G.; Gudowsky, N.; Saurwein, F.; Rhomberg, W.; Weber, M.; Wepner, B. (2015a): Industrie 4.0. Foresight & Technikfolgenabschätzung zur gesellschaftlichen Dimension der nächsten industriellen Revolution. Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, <http://epub.oeaw>.

- ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-2.pdf (14.7.2016)
- Aichholzer, G.; Rhomberg, W.; Gudowsky, N.; Saurwein, F.; Weber, M. (2015b): Industrie 4.0 – Hintergrundpapier für den 1. Workshop am 4. Mai 2015. Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, <http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-1.pdf> (14.7.2016)
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, [www.bmw.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zukunft-der-arbeit-in-industrie-4-0,property=pdf,bereich=bmw2012,sprache=de,rwb=true.pdf](http://www.bmw.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zukunft-der-arbeit-in-industrie-4-0,property=pdf,bereich=bmw2012,sprache=de,rwb=true.pdf) (14.7.2016)
- Bonin, H.; Gregory, T.; Zierahn, U. (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. Kurzexpertise Nr. 57, ZEW Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH, Mannheim, [http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise\\_BMAS\\_ZEW2015.pdf](http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise_BMAS_ZEW2015.pdf) (14.7.2016)
- Dirnberger, H. (2015): Ubiquitous Computing in Automatisierung und Industrial IT. Vortrag auf der CMG-AE Tagung »Industrie 4.0: Revolutionäre Anforderungen an die IT oder Business as Usual?«, Wien am 24.2.2015, <https://www.cybersecurity-austria.at/images/pdf/dirnberger2015-1.pdf> (14.7.2016)
- Fidler, F. (2015): Entwarnung: »Keine Angst vor Industrie 4.0«. In: KarriereStandard, 21./22.März 2015, [http://festo-evolution.at/sites/all/themes/evolution/images/Standard\\_Industrie%204.0%20Teil%205.pdf](http://festo-evolution.at/sites/all/themes/evolution/images/Standard_Industrie%204.0%20Teil%205.pdf) (5.8.2016)
- Forschungsunion (Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft); acatech (acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaft e. V.) (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt a.M., [www.forschungsunion.de/pdf/industrie\\_4\\_0\\_abschlussbericht.pdf](http://www.forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_abschlussbericht.pdf) (14.7.2016)
- Frey, C.; Osborne, M. (2013): The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation. Oxford Martin Programme on the Impact of Future Technology and Employment, Oxford, [www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf) (14.7.2016)
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014): Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: BMWi 2014, S. 37–42
- Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.) (2015). Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Berlin
- Kärcher, B. (2014): Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In: BMWi 2014, S. 19–25
- Ovtcharova, J.; Häfner, P.; Häfner, V.; Katicic, J.; Vink, C. (2014): Aufbruch in eine neue Arbeitskultur durch Virtual Engineering. In: BMWi 2014, S. 50–57
- Pajarinen, M.; Rouvinen, P. (2014): Computerization Threatens One Third of Finnish Employment. ETLA Brief 22, ETLA Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, [www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Muis-tio-Brief-22.pdf](http://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Muis-tio-Brief-22.pdf) (14.7.2016)
- Pfeiffer, S. (2015): Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung. ITA-manuscript 15-03, Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, [http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita\\_15\\_03.pdf](http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_03.pdf) (14.7.2016)
- Pfeiffer, S.; Lee, H.; Zirnic, C.; Suphan, A. (2016): Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) (Hg.), Frankfurt a. M., <http://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/VDMA%20Studie%20Industrie%204.0%20Qualifizierung%202025.pdf> (14.7.2016)
- Spath, D. (Hg.); Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer IAO, Stuttgart, [www.iao.fraunhofer.de/lang-de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf](http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf) (14.7.2016)
- Strategy& PwC (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. [www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf](http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf) (14.7.2016)