ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of
ZBW
Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Kaltenborn, Bruno

Working Paper

Auswirkungen der Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit in Deutschland: Literaturstudie

Working Paper Forschungsförderung, No. 157

Provided in Cooperation with:
The Hans Böckler Foundation

Suggested Citation: Kaltenborn, Bruno (2019) : Auswirkungen der Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit in Deutschland: Literaturstudie, Working Paper Forschungsförderung, No. 157, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf, https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2020011411055000983769

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/216077

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Hans Böckler Stiftung

Mitbestimmung · Forschung · Stipendien

WORKING PAPER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Nummer 157, Oktober 2019

Auswirkungen der Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit in Deutschland

Literaturstudie

Bruno Kaltenborn

FORSCHUNGS-
FÖRDERUNG

Autor

Dr. Bruno Kaltenborn ist in Potsdam freiberuflich in der Wirtschaftsforschung und Politikberatung tätig. Schwerpunkt ist die arbeitsmarkt- und sozialpolitische Forschung und Beratung.

© 2019 by Hans-Böckler-Stiftung
Hans-Böckler-Straße 39, 40476 Düsseldorf
www.boeckler.de

„Auswirkungen der Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit in Deutschland“ von Bruno Kaltenborn ist lizenziert unter

Creative Commons Attribution 4.0 (BY).

Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. (Lizenztext: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. von Schaubildern, Abbildungen, Fotos und Textauszügen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

ISSN 2509-2359

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis 7

Kurzfassung 9

1. Einleitung 11

2. Automatisierbarkeit 15

2.1 Automatisierbarkeit auf Basis von US-Berufen 15

2.2 Originär nationale Studien zum Substitutionspotenzial 25

2.3 Zusammenfassung und Zwischenfazit 35

3. Bisherige Folgen der Digitalisierung 51

3.1 Internet 51

3.2 Industrieroboter 56

3.3 Vernetzung und maschinelles Lernen 63

3.4 Technologische Entwicklung insgesamt 64

4. Projektionen 72

5. Zusammenfassung und Fazit 87

Literatur 108

Anhang A: Berufs- und Branchenklassifikationen 122

Anhang B: Schätzungen zur Automatisierungswahrscheinlichkeit 124

Anhang C: Substitutionspotenzial nach Berufen
Wirtschaftszweigen 129

Anhang D: Projektionen nach Berufen 142

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tätigkeitskategorien und Anforderungstypen nach Frey/Osborne (2013; 2017) ... 17

Tabelle 2: Merkmale zur Konstruktion des Arbeitsvermögen-Indexes ... 30

Tabelle 3: Merkmale des BIBB-Indexes zum Ersetzungspotenzial ... 32

Tabelle 4: Studien zur Automatisierungswahrscheinlichkeit und zum Substitutionspotenzial ... 45

Tabelle 5: Annahmen der Economix-Projektion ... 78

Tabelle 6: Annahmen von Szenarien einer beschleunigten Digitalisierung der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen ... 83

Tabelle 7: Aussagekraft nach Analyseebene ... 92

Tabelle 8: Merkmale verschiedener Studien ... 97

Tabelle 9: Berufsklassifikationen ... 122

Tabelle 10: Branchenklassifikationen ... 123

Tabelle 11: ZEW- und OECD-Schätzungen zum Einfluss beruflicher Tätigkeiten auf die Automatisierungswahrscheinlichkeit ... 124

Tabelle 12: IAB-Substituierbarkeitspotenzial 2013 und Anteil der Beschäftigten mit einem hohen BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial 2018 nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau ... 129

Tabelle 13: IAB-Substituierbarkeitspotenzial 2013 und BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial 2018 nach Berufsgruppen und Anforderungsniveau ... 131

Tabelle 14: Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex des Bundesinstituts für Berufsbildung nach Wirtschaftszweigen 2015 bis 2018 ... 138

Tabelle 15: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau bis 2030 ... 142

Tabelle 16: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion bis 2030 und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion bis 2035 nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau 145

Tabelle 17: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Berufsgruppen bis 2035 148

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: IAB-Substituierbarkeitspotenziale nach Berufssegmenten 2013 und 2016 28

Abbildung 2: BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial nach Qualifikationsniveau im Zeitverlauf 33

Abbildung 3: Automatisierungswahrscheinlichkeit und Substitutionspotenzial sowie Indices zum Ersetzungspotenzial und Arbeitsmögen nach Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau 36

Abbildung 4: Anteil der Erwerbstätigen bzw. Beschäftigten mit hoher Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. hohem Substitutionspotenzial nach Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau 37

Abbildung 5: IAB-Substituierungspotenzial 2013 und BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial 2018 nach Berufsgruppen 39

Abbildung 6: Breitbandanschlüsse in Festnetzen im Zeitverlauf 52

Abbildung 7: Auslieferungen und Bestand an Industrierobotern im Zeitverlauf 57

Abbildung 8: Betriebliche Nutzung von Büro- und Kommunikationsmitteln sowie Produktionsmitteln nach Technologie 65

Abbildung 9: Economix-Projektion der Zahl der Erwerbstätigen infolge beschleunigter Digitalisierung von 2014 bis 2030 nach Berufsbereich und Anforderungsniveau 77

Abbildung 10: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Anforderungsniveau 85

Abbildung 11: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Berufshauptgruppen bis 2030 86

Abkürzungsverzeichnis

AKE	Europäische Arbeitskräfteerhebung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BeH	Beschäftigtenhistorik (des IAB)
BHP	Betriebs-Historik-Panel
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
CAD	Computer-Aided Design
CNC	Computerized Numerical Control
DOT	*Dictionary of Occupational Titles* (Datenbank mit US-amerikanischen Berufen, Vorgänger von O*NET)
Dtl.	Deutschland
DSL	Digital Subscriber Line (Übertragungsstandard)
EMS	European Manufacturing Survey (des ISI)
ERD	European Regional Data (von Cambridge Econometrics)
EUKLEMS	EU level analysis of capital (K), labour (L), energy (E), materials (M) and service (S) inputs
GWS	Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung
IAB	Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung
IEB	Integrierte Erwerbsbiographien des IAB
IFR	International Federation of Robotics
ifo Institut	ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
INKAR	Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung (des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung)
insg.	insgesamt
ISCO	International Standard Classification of Occupations (der Internationalen Arbeitsorganisation)
ISDN	Integriertes Sprach- und Datennetz
ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
ISIC	International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (der Vereinten Nationen)
ISO	Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnologie
IW	Institut der deutschen Wirtschaft Köln
k.A.	keine Angabe
kb/s	Kilobit je Sekunde
KldB	Klassifikation der Berufe
LIAB	Linked-Employer-Employee-Daten des IAB
LSE	London School of Economics
mind.	mindestens

Mio.	Millionen
NACE	*Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne* (Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft)
Nr.	Nummer(n)
NUTS	*Nomenclature des unités territoriales statistiques* (Klassifikation der Gebietseinheiten für die Statistik)
O*NET	*Occupational Information Network* (Datenbank mit US-amerikanischen Berufen, Nachfolger von DOT)
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
QPE	Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex (des BIBB)
PIAAC	Programme for the International Assessment of Adult Competencies (Befragung der OECD)
PwC	*PricewaterhouseCoopers* GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
SIAB	Stichprobe der Integrierten Arbeitsmarktbiografien
SOC	*Standard Occupational Classification* (US-amerikanische Berufsklassifikation)
STAN	Structural Analysis Database (der OECD)
Std.	Stunden
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
wtl.	wöchentlich
WZ	Klassifikation der Wirtschaftszweige (für Deutschland)
ZEW	Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung

Kurzfassung

Die Digitalisierung kann vielfältige Auswirkungen auf die Erwerbstätigkeit haben. In der vorliegenden Literaturstudie werden die Konsequenzen der bisherigen und künftigen Digitalisierung auf Zahl und berufliche Struktur der Erwerbstätigen in Deutschland thematisiert. Der Fokus auf Deutschland ist zweckmäßig, weil nicht a priori unterstellt werden kann, dass die Auswirkungen der Digitalisierung in unterschiedlichen Ländern vergleichbar sind.

Digitale Prozessinnovationen können zunächst Arbeit im betroffenen Betrieb substituieren, gleichzeitig werden vielfach innerbetrieblich und/oder in anderen Betrieben zusätzliche Aufgaben etwa für Einführung, Bedienung, Wartung, Reparatur und Herstellung der neuen Technik anfallen (Komplementäreffekt). Der durch die Prozessinnovation induzierte Produktivitätsfortschritt kann zu Wettbewerbsvorteilen und damit zu zusätzlicher Produktnachfrage führen, die ihrerseits die Zahl der Erwerbstätigen erhöht (Produktnachfrage- oder Wettbewerbseffekt). Zudem wird aufgrund des verschärften Wettbewerbs ggf. die Beschäftigung in Konkurrenzbetrieben ohne Prozessinnovation reduziert (Verdrängungseffekt). Eine erhöhte Produktnachfrage generiert zusätzliches Einkommen, das generell die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen und dadurch die Zahl der Erwerbstätigen erhöhen kann (Einkommens- oder Multiplikatoreffekt).

Die meisten der vorliegend ausgewerteten Studien befassen sich lediglich mit Teilaspekten der skizzierten Effekte. Zahlreiche Studien befassen sich mit der technischen Automatisierbarkeit von Berufen, Arbeitsplätzen oder beruflichen Tätigkeiten. Die Ergebnisse hierzu sind sehr heterogen. So haben beispielsweise den Ergebnissen zufolge zwischen 12 Prozent und 59 Prozent der Beschäftigten mit mindestens 70 Prozent ein hohes Automatisierungsrisiko bzw. einen hohen Anteil an substituierbaren Tätigkeiten. Tendenziell nimmt die Automatisierbarkeit mit dem Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau ab. Angesichts der Heterogenität der Ergebnisse und aus methodischen Gründen sollten diese Ergebnisse nur mit größter Vorsicht interpretiert werden.

Mehrere Studien befassen sich mit den *bisherigen* Auswirkungen spezifischer Technologien (Verfügbarkeit von Internet, Einsatz von Industrierobotern, Vernetzung und maschinelles Lernen) oder der Digitalisierung insgesamt. Den Studien zufolge hat die Digitalisierung bislang keine oder allenfalls eher geringe – positive oder negative – Beschäftigungseffekte zur Folge. Gleichzeitig gibt es jedoch Verschiebungen zwischen Branchen und Berufen. So hat der Einsatz digitaler Technologien

tendenziell den Bedarf an gering qualifizierter Arbeit vermindert und den Bedarf an (hoch) qualifizierten Tätigkeiten erhöht.

Einige Studien projizieren auf Basis der bisherigen die *künftige* Beschäftigungsentwicklung. Ähnlich wie die Studien zu den bisherigen Auswirkungen der Digitalisierung werden künftig infolge einer (beschleunigten) Digitalisierung leichte Beschäftigungsgewinne oder -verluste projiziert. In Relation zu den Auswirkungen des anstehenden demographischen Wandels, der das Erwerbspersonenpotenzial in den nächsten Jahren und Dekaden erheblich vermindern wird, sind diese Beschäftigungseffekte allerdings sehr gering. Relevanter dürften hingegen die nach den vorliegenden Projektionen zu erwartenden erheblichen Strukturverschiebungen zwischen Branchen und Berufen sein. So reduziert die fortschreitende Digitalisierung den Bedarf an gering qualifizierter Arbeit und erhöht den Bedarf an (hoch) qualifizierten Tätigkeiten.

1. Einleitung

Die Massenproduktion durch Maschinen begann um 1800, wesentlich war dabei die Nutzung von Wasser- und Dampfkraft. Im Rückblick wird diese Entwicklung als (erste) industrielle Revolution bezeichnet. Die Nutzung von Elektrizität als Antriebskraft und die damit mögliche Fließbandfertigung um 1900 wird rückblickend als zweite industrielle Revolution charakterisiert. Die dritte industrielle Revolution erfolgte in den 1970er Jahren mit der Automatisierung durch Elektronik und elektronische Datenverarbeitung. Eine wichtige Grundlage war hier bereits die Digitalisierung, also die Übertragung analoger Informationen in diskrete (abgestufte) Werte. Die weiter fortschreitende Digitalisierung wird inzwischen oftmals als vierte industrielle Revolution bezeichnet. Sie ist charakterisiert insbesondere durch weitgehende Vernetzung, großen Datenmengen und darauf aufbauendem maschinellen Lernen. Kommerziell werden derzeit Technologien genutzt, die aus allen vier industriellen Revolutionen resultieren (für einen Überblick vgl. Abschnitt 3.4).

Die industriellen Revolutionen waren und sind mit vielfältigen Innovationen verbunden. Hierzu gehören sowohl (Service- und) Produktinnovationen als auch Prozessinnovationen. Resultat von Produktinnovationen sind neue Produkte bzw. Dienstleistungen, aus Prozessinnovationen resultieren neue Verfahren zur Erstellung von Produkten oder Dienstleistungen. Dabei ist die Unterscheidung von Produkt- und Prozessinnovationen nicht immer eindeutig und zudem vom Betrachtungsstandpunkt abhängig: So stellen beispielsweise neue Industrieroboter aus Sicht des einsetzenden Unternehmens eine Prozessinnovation dar, aus Sicht des Herstellers von Industrierobotern sind sie eine Produktinnovation.

Idealtypisch bestehen die Beschäftigungseffekte einer Prozessinnovation aus folgenden Komponenten:

- Eine Prozessinnovation führt zunächst zur Substitution von Arbeit durch Kapital in den unmittelbar betroffenen Betrieben (*Substitutionseffekt*). Eine solche Prozessinnovation wird nur dann eingeführt, wenn (zumindest perspektivisch) eine Erhöhung der Gesamtproduktivität erwartet wird, also die gleiche Menge an Produkten bzw. Dienstleistungen mit geringeren Kosten erzeugt werden kann.
- Eine Prozessinnovation kann und wird oftmals dazu führen, dass zur neuen Technologie komplementäre Tätigkeiten (etwa für Herstellung, Einführung, Bedienung, Wartung oder Reparatur) erforderlich sind (*Komplementäreffekt*). Diese komplementären Tätigkeiten können ganz oder teilweise
  - in den vom Substitutionseffekt unmittelbar betroffenen Betrieben,
  - in anderen Betrieben in der gleichen Region,

  - in anderen Regionen im Inland oder
  - im Ausland

  anfallen. Theoretisch kann der Komplementäreffekt hinsichtlich des zeitlichen Umfangs den Substitutionseffekt übersteigen, wenngleich dies sehr unwahrscheinlich erscheint. Hierzu müsste der Komplementäreffekt hinsichtlich des Arbeitsvolumens den Substitutionseffekt überkompensieren, wobei es unter Berücksichtigung der Investitionskosten dennoch zu Kosteneinsparungen kommen müsste. Dies ist nur dann möglich, wenn durch den Substitutionseffekt überwiegend kostenintensive (qualifizierte) Arbeit ersetzt wird und aufgrund des Komplementäreffekts vorwiegend kostengünstige (gering qualifizierte) Arbeit benötigt wird. Dies dürfte allenfalls im Ausnahmefall zutreffen. Insgesamt dürfte daher davon auszugehen sein, dass Substitutions- und Komplementäreffekt zusammen regelmäßig einen negativen Effekt auf das Arbeitsvolumen haben.
- Der infolge der digitalen Prozessinnovation erreichte Produktivitätsfortschritt senkt die Produktionskosten, so dass die Absatzpreise reduziert werden können. Dies kann und wird oftmals zu einer erhöhten Nachfrage nach den erzeugten Produkten bzw. Dienstleistungen in der betreffenden Region und im Fall von exportfähigen Gütern auch in anderen Regionen im Inland oder im Ausland führen. Diese erhöhte Nachfrage führt zu einer Erhöhung des Umfangs an erforderlicher Arbeit in den Betrieben mit digitaler Prozessinnovation (*Produktnachfrage- oder Wettbewerbseffekt*).
- Gleichzeitig können ggf. andere Betriebe, die die gleichen Güter bzw. Dienstleistungen ohne digitale Prozessinnovation erzeugen, weniger absetzen, so dass hier Produktion und Beschäftigung zurückgehen (*Verdrängungseffekt*). Bei Prozessinnovationen für die Erzeugung nicht exportfähiger Güter ist der Verdrängungseffekt regional begrenzt, bei exportfähigen Gütern kann er sich auch auf andere Regionen im Inland oder das Ausland erstrecken.
- Erhöhte Produktion infolge des Nachfrageeffekts generiert zusätzliches Einkommen. Einkommen aus Arbeit wird regelmäßig in der gleichen Region anfallen, Kapitaleinkünfte können regional, überregional im Inland oder im Ausland anfallen. Dieses zusätzliche Einkommen wird vielfach zu zusätzlicher Nachfrage nach anderen Produkten und Dienstleistungen und damit in den entsprechenden Betrieben zu zusätzlicher Produktion und Beschäftigung führen (*Einkommens- oder Multiplikatoreffekt*). Dieser Einkommenseffekt kann sich in der gleichen Region, überregional und/oder auf den Import auswirken.

Sofern Prozessinnovationen mit Neugründungen von Betrieben zusammenfallen, entfällt der Substitutionseffekt, allerdings dürfte dann der Verdrängungseffekt stärker ausfallen.

Dieser Literaturüberblick befasst sich mit aktuellen empirischen Untersuchungen der letzten Jahre zu den Auswirkungen der bisherigen und künftigen Digitalisierung auf Zahl und berufliche Struktur der Erwerbstätigen in Deutschland.[1] Als Vorboten von Änderungen des Arbeitsvolumens wird auch auf Auswirkungen auf Innovationen und Produktivität eingegangen. Falls es mehrere vergleichbare Studien gibt, so wird grundsätzlich jeweils nur die letzte berücksichtigt; für Zeitvergleiche werden allerdings auch ältere Studien herangezogen. Die duale Berufsausbildung in Deutschland ist im internationalen Kontext ein Spezifikum. Daher kann a priori nicht davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen der Digitalisierung genauso wie in anderen Ländern sind. Deshalb werden als Minimalanforderung grundsätzlich nur Studien einbezogen, die Ergebnisse speziell für Deutschland ausweisen. Allerdings ist bei Studien auf Basis internationaler Daten damit nicht sichergestellt, dass die Studien die spezifische Situation Deutschlands adäquat berücksichtigen. Vom Grundsatz von Ergebnissen speziell für Deutschland wird punktuell abgewichen:

- Zum einen wird aus methodischen Gründen in Abschnitt 2.1 die viel beachtete Studie von Frey/Osborne (2013; 2017) zur Automatisierbarkeit von US-Berufen vorgestellt, da sie Grundlage für mehrere Replikationsstudien u. a. für Deutschland war.
- Empirische Untersuchungen zu den Auswirkungen von Industrierobotern wurden auch dann berücksichtigt, wenn sie Deutschland lediglich berücksichtigen, ohne jedoch Ergebnisse speziell für Deutschland auszuweisen. Eine Begründung enthält Abschnitt 3.2.

Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) und das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) haben für diese Literaturanalyse freundlicherweise bislang unveröffentlichte Ergebnisse – insbesondere tiefer gegliederte Differenzierungen nach Berufen – zur Verfügung gestellt.[2] Sabine Pfeiffer hat freundlicherweise einen im Erscheinen befind-

1 Effenberger/Garloff/Würzburg (2018) geben ebenfalls einen Literaturüberblick, Engels (2016) mit dem Fokus auf behinderte Menschen. Die International Labour Organization (2017) hat in einer internationalen Befragung von Ministerien, Gewerkschaften und Arbeitgeberorganisationen in 61 Staaten erhoben, wer in den jeweiligen Ländern für die Feststellung des Qualifikationsbedarf und dessen Projektion verantwortlich ist und mit welchen Methoden dies erfolgt.

2 Das IAB hat das von ihm für 2013 ermittelte Substituierbarkeitspotenzial für 36 Berufshauptgruppen (vgl. Tabelle 12 in Anhang C) sowie für 140 Berufsgruppen auch differenziert nach vier Anforderungsniveaus zur Verfügung gestellt (vgl. Abbildung 5 in Abschnitt 2.3 und Tabelle 13 in Anhang C). Das BIBB hat den von ihm ermittelten

lichen Aufsatz übersandt (Pfeiffer/Suphan 2019). Ihnen gilt hierfür besonderer Dank.

Im folgenden Kapitel 2 werden zunächst Studien vorgestellt, die Berufe und Tätigkeiten ermitteln, die aus technischer Sicht automatisiert werden könnten (Substitutionspotenzial). Ergänzend enthält Anhang B Angaben zu verwendeten Variablen und Ergebnisse ökonometrischer Schätzungen. Das resultierende Substitutionspotenzial ist Grundlage für mögliche Substitutionseffekte. Ergänzend enthält Anhang C beruflich und nach Wirtschaftszweigen differenzierte Ergebnisse zum Substitutionspotenzial. Das Kapitel 3 befasst sich mit empirischen Studien, die die Auswirkungen bereits erfolgter Digitalisierung untersuchen. In Kapitel 4 wird auf Studien eingegangen, die die Konsequenzen einer künftig (beschleunigten) Digitalisierung aufzeigen. Ergänzend enthält Anhang D beruflich differenzierte Projektionen. Eine Zusammenfassung und ein Fazit sind Gegenstand von Kapitel 5. Der Anhang A enthält tabellarische Übersichten zu Klassifikationen und Branchen.

Index zum Ersetzungspotenzial für 2018 für 108 Berufsgruppen (vgl. Abbildung 5 in Abschnitt 2.3 und Tabelle 13 in Anhang C) und eine Zeitreihe von 1979 bis 2018 für vier Anforderungsniveaus (vgl. Abbildung 2 in Abschnitt 2.2) übersandt. Zudem hat das BIBB Ergebnisse aus der 2018 erstellten BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion bis 2035 für 37 Berufshauptgruppen differenziert nach vier Anforderungsniveaus zur Verfügung gestellt (vgl. Tabellen 15 und 16 in Anhang D).

2. Automatisierbarkeit

In diesem Kapitel werden verschiedene Studien vorgestellt, die sich mit den technischen Möglichkeiten der Automatisierbarkeit von Berufen, Arbeitsplätzen oder beruflichen Tätigkeiten befassen. Resultat sind Automatisierungswahrscheinlichkeiten bzw. das Substitutionspotenzial. Diese Studien ermitteln also keine tatsächlichen oder zu erwartenden Beschäftigungseffekte der Digitalisierung, sondern beschreiben das technische Potenzial für die in Kapitel 1 skizzierten Substitutionseffekte und geben mithin eine Obergrenze für Substitutionseffekte an. Weitergehende Effekte, wie Komplementäreffekte oder Nachfrageeffekte bleiben gänzlich unberücksichtigt.

Etliche Studien mit Ergebnissen für Deutschland und andere Länder basieren auf Einschätzungen zur Automatisierbarkeit von US-amerikanischen Berufen. Derartige Studien werden zunächst in Abschnitt 2.1 vorgestellt. Abschnitt 2.2 befasst sich mit originär nationalen Studien zum Substitutionspotenzial in Deutschland. Abschnitt 2.3 enthält eine Zusammenfassung und ein Zwischenfazit.

2.1 Automatisierbarkeit auf Basis von US-Berufen

In diesem Abschnitt werden Studien vorgestellt, die die Automatisierbarkeit von Berufen, Arbeitsplätzen oder Tätigkeiten auf Basis von Einschätzungen zur Automatisierbarkeit von US-amerikanischen Berufen bzw. Tätigkeiten ermitteln. Sie sind im Nachgang zu der viel beachteten Studie von Frey/Osborne (2013; 2017) für die USA entstanden, die inzwischen unter Verwendung von deren Ergebnissen mehrfach für Deutschland und andere Staaten repliziert wurde. Daher wird zunächst diese Studie vorgestellt. Anschließend werden mehrere Replikationsstudien für Deutschland und abschließend zwei Studien vorgestellt, die zwar auf Einschätzungen zur Automatisierbarkeit von US-Berufen, nicht jedoch auf Frey/Osborne (2013; 2017) basieren.

Frey/Osborne (2013; 2017) von der *University of Oxford* nutzen Daten des *Occupational Information Network* (O*NET) des US-amerikanischen Arbeitsministeriums für das Jahr 2010. Sie enthalten für 903 Berufe u. a. Tätigkeitsbeschreibungen. Das O*NET wird größtenteils aus Experteneinschätzungen gespeist, teilweise auch aus Umfragedaten (Helmrich et al. 2016, S. 13). Um Angaben zu Beschäftigung und Löhnen nutzen zu können, ordnen die Autoren die 903 O*NET-Berufe den etwas weniger differenzierten 840 Berufen der US-amerikanischen

Berufsklassifikation *Standard Occupational Classification* (SOC) zu. Dabei ist nicht immer eine eineindeutige Zuordnung möglich:

- Falls mehrere O*NET-Berufe einem SOC-Beruf zugeordnet werden, werden die Tätigkeiten gemittelt.
- Einigen SOC-Berufen wurden keine entsprechenden O*NET-Berufe zugeordnet. Insgesamt wurden 702 SOC-Berufen ein oder mehrere O*NET-Berufe zugeordnet. In diesen gab es 138,44 Millionen Beschäftigte, dies entsprach 97 Prozent aller Beschäftigten.

Zusammen mit einer Gruppe von Forscherinnen und Forschern, die sich mit künstlicher Intelligenz befassen, wurden 70 der 702 Berufe identifiziert, die mit dem gegenwärtigen Stand der computergesteuerten Technik anhand einer genauen Aufgaben- bzw. Tätigkeitsbeschreibung entweder vollständig oder vollständig nicht automatisierbar sind, die Verfügbarkeit großer Datenmengen vorausgesetzt.[3] Diese Klassifikation wurde genutzt, um mit einer ökonometrischen Schätzung anhand von neun aus der O*NET-Datenbasis generierter Anforderungstypen für die 702 Berufe eine Automatisierungswahrscheinlichkeit zu bestimmen. Die neun Anforderungstypen repräsentieren drei Tätigkeitskategorien, die die Autoren auf absehbare Zeit nicht für automatisierbar halten: Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten, kreativ-intelligente Tätigkeiten und sozial-intelligente Tätigkeiten (vgl. Tabelle 1).[4] Umgekehrt nimmt die Studie damit implizit an, alle anderen Tätigkeiten seien automatisierbar. Die resultierende Automatisierungswahrscheinlichkeit gibt an, wie wahrscheinlich es ist, dass Expert/inn/en den entsprechenden Beruf in einer unspezifizierten Anzahl von Jahren, beispielsweise in ein bis zwei Dekaden, technisch für (vollständig) automatisierbar halten (Frey/Osborne 2013, S. 38; vgl. auch Bonin/Gregory/Zierhan 2015, S. 6). Von den 33 Berufen, die von den Expert/inn/en als vollständig nicht automatisierbar eingeschätzt wurden, haben nach den Schätzergebnissen sechs eine Wahrscheinlichkeit von mehr als 25 Prozent bis 50 Prozent und vier eine Wahrscheinlichkeit von mehr als 50 Prozent, für automatisierbar gehalten zu werden.[5] Die Automatisierungswahrscheinlichkeit eines Berufes sinkt mit dem Lohn und dem Ausbildungsniveau. Die Verteilung

3 Die Fragestellung lautete: „Can the tasks of this job be sufficiently specified, conditional on the availability of big data, to be performed by state of the art computer-controlled equipment?“

4 Inwieweit die neun Anforderungstypen bzw. drei Tätigkeitskategorien mit den Gründen kompatibel sind, die zur Klassifikation der 70 Berufe geführt haben, ist offen, da zu den Klassifikationsentscheidungen keine Begründungen vorliegen.

5 Dies deutet daraufhin, dass die für die Schätzung verwendeten tätigkeitsbezogenen Merkmale nur unzureichend die Gründe für die Einschätzung durch die Expert/inn/en widerspiegeln.

der US-Beschäftigten nach der Automatisierungswahrscheinlichkeit hat eine U-Form, d. h. sehr geringe und sehr hohe Automatisierungswahrscheinlichkeiten kommen vergleichsweise häufig und mittlere vergleichsweise selten vor. Damit korrespondiert auch die Verteilung auf die drei Risikogruppen, die die Studie unterscheidet: 33 Prozent haben ein geringes (bis 30 %), 19 Prozent ein mittleres (30 % bis 70 %) und 47 Prozent der US-Beschäftigten ein hohes Risiko (über 70 %), dass Expert/inn/en ihren Beruf in Zukunft für vollständig automatisierbar halten. Dies wird üblicherweise dahingehend interpretiert, dass 47 Prozent der US-Beschäftigten ein hohes Risiko haben, dass ihr Beruf künftig vollständig automatisierbar sein wird. Zur Vereinfachung der Darstellung wird bei den im Folgenden in diesem Abschnitt beschriebenen Replikationsstudien diese Interpretation sprachlich übernommen.

Tabelle 1: Tätigkeitskategorien und Anforderungstypen nach Frey/Osborne (2013; 2017)

Tätigkeitskategorie	**O*NET: Merkmal (Anforderungstyp)**	**O*NET: Beschreibung**
Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten	finger dexterity (Fingerfertigkeit)	The ability to make precisely coordinated movements of the fingers of one or both hands to grasp, manipulate, or assemble very small objects.
	manual dexterity (handwerkliches Geschick)	The ability to quickly move your hand, your hand together with your arm, or your two hands to grasp, manipulate, or assemble objects.
	cramped work space, awkward positions (beengter Arbeitsraum, unbequeme Haltungen)	How often does this job require working in cramped work spaces that requires getting into awkward positions?
kreativ-intelligente Tätigkeiten	originality (Originalität)	The ability to come up with unusual or clever ideas about a given topic or situation, or to develop creative ways to solve a problem.
	fine arts (künstlerische Tätigkeiten)	Knowledge of theory and techniques required to compose, produce, and perform works of music, dance, visual arts, drama, and sculpture.

Tätigkeits-kategorie	O∗NET: Merkmal (Anforderungstyp)	O∗NET: Beschreibung
sozial-intelligente Tätigkeiten	social perceptiveness (soziale Beobachtungsgabe)	Being aware of others' reactions and understanding why they react as they do.
	negotiation (Verhandlungen)	Bringing others together and trying to reconcile differences.
	persuasion (Überzeugungskraft)	Persuading others to change their minds or behavior.
	assisting and caring for others (Unterstützung und Fürsorge für andere)	Providing personal assistance, medical attention, emotional support, or other personal care to others such as coworkers, customers, or patients.

Quelle: Frey/Osborne 2013, S. 31.

Unter der Annahme, dass deutsche und US-amerikanische Berufe vergleichbare Tätigkeitsprofile haben, übertragen das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) (Bonin/Gregory/Zierhan 2015, S. 8–11) und die ING DiBa (Brzeski/Burk 2015) die Ergebnisse der Studie von Frey/Osborne (2013) berufsbasiert auf Deutschland. Hierzu ist eine Zuordnung der US-amerikanischen SOC-Berufe zu den Berufen der in Deutschland verwendeten Klassifikation der Berufe (KldB), Ausgabe 2010, erforderlich. Beide Studien haben diese Zuordnung anhand vorliegender Korrespondenztabellen gemacht, wobei zunächst eine Zuordnung zu den Berufen der international verwendeten *International Standard Classification of Occupations* in der Fassung von 2008 (ISCO-08) und dann auf die 144 Berufsgruppen der deutschen Klassifikation notwendig war. Dabei gehen die beiden Studien unterschiedlich damit um, wenn mehrere SOC-Berufe einem ISCO-Beruf bzw. mehrere ISCO-Berufe einer Berufsgruppe der deutschen Klassifikation zugeordnet werden:

- Brzeski/Burk (2015) ermitteln eine durchschnittliche Automatisierungswahrscheinlichkeit und ordnen diese zu (Mittelwertansatz).[6]

6 Dabei bleibt offen, ob es sich um einen gewichteten oder ungewichteten Durchschnitt handelt.

- Falls mehrere SOC-Berufe einer KldB-Berufsgruppe zugeordnet werden, verteilen Bonin/Gregory/Zierhan (2015) die Beschäftigten einer KldB-Berufsgruppe gleichmäßig auf die SOC-Berufe (Gleichverteilungsansatz) (als mögliche Alternative wurde ein Medianwertansatz geprüft und verworfen).

Brzeski/Burk (2015, S. 1) kommen zu dem Ergebnis, dass von den 81 Prozent der sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigten in Deutschland, für die eine Zuordnung möglich war, 59 Prozent auf Arbeitsplätzen tätig sind, die „in ihrer jetzigen Form von der Technologisierung in Deutschland bedroht“ sind. Demgegenüber ermitteln Bonin/Gregory/Zierhan (2015), dass 42 Prozent der Beschäftigten in Deutschland in Berufen arbeiten, die künftig mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens bzw. über 70 Prozent automatisierbar sein werden.[7] Die Verteilung der Beschäftigten hat eine U-Form mit einer Häufung an den Rändern, wobei in Deutschland die geringen Automatisierungswahrscheinlichkeiten häufiger und die hohen seltener als in den USA nach den Ergebnissen von Frey/Osborne (2013; 2017) sind.

Allerdings ist nach Bonin/Gregory/Zierhan (2015, S. 11f) die für die berufsbasierte Übertragung erforderliche Annahme, dass deutsche und US-amerikanische Berufe vergleichbare Tätigkeitsprofile haben, nicht erfüllt. Anstelle der skizzierten berufsorientierten Übertragung, nehmen sie daher ergänzend eine tätigkeitsbasierte Übertragung der Ergebnisse für die USA auf Deutschland vor. Weitgehend analog ermittelt das ZEW zudem in einer weiteren Studie (Arntz/Gregory/Zierahn 2016) für diese beiden und 19 weitere OECD-Länder das Automatisierungspotenzial. Wesentliche Datengrundlage ist die 2011/2012 in 24 Ländern vergleichbar durchgeführte Erhebung zu den Kompetenzen Erwachsener im Alter von 16 bis 65 Jahren in Privathaushalten im Rahmen des *Programme for the International Assessment of Adult Competencies* (PIAAC) der OECD (2016) mit mindestens 5.000 Befragten je Land. Die für die Studien verwendeten PIAAC-Daten für Beschäftigte enthielten neben Angaben zu Tätigkeiten am Arbeitsplatz lediglich eine Zuordnung des ausgeübten Berufs zu einer der 43 *sub-major groups* der ISCO-Berufsklassifikation von 2008. Beide Studien quantifizieren in einer ökonometrischen Schätzung anhand der PIAAC-Daten für die USA den Einfluss der Häufigkeit verschiedener beruflicher Tätigkeiten auf die von Frey/Osborne (2013; 2017) ermittelte Wahrscheinlichkeit, dass der ausgeübte Beruf künftig vollständig automatisierbar ist (vgl. Tabelle 11 in

7 Zugleich ermitteln sie für die USA einen Anteil von 49 % statt von 47 % von Frey/Osborne (2013), da sie nicht die gleichen Beschäftigtendaten verwenden konnten.

Anhang B). Da aus den PIAAC-Daten nur die Zuordnung zu einer der 43 *sub-major groups* (ISCO 2008) bekannt ist, kommen für die zu erklärende Variable – die von Frey/Osborne (2013; 2017) geschätzte Automatisierungswahrscheinlichkeit – mehrere Werte in Betracht. Die ökonometrische Schätzung der Parameter und die Zuordnung der Automatisierungswahrscheinlichkeiten erfolgt in einem iterativen Prozess. Schließlich werden die Schätzergebnisse[8] zur Ermittlung von Automatisierungswahrscheinlichkeiten für die PIAAC-Befragten aus den USA, Deutschland und anderen Ländern verwendet. Die ökonometrische Schätzung ist allerdings nur dann sinnvoll möglich, wenn es genügend Beobachtungen gibt, bei denen die Zuordnung der Automatisierungswahrscheinlichkeit ausreichend klar ist; diese Bedingung ist nach Bonin/Gregory/Zierhan (2015) erfüllt. Zudem müssten sich die Tätigkeitsstrukturen zwischen Arbeitsplätzen mit hoher und geringer Automatisierungswahrscheinlichkeit ausreichend unterscheiden; diese Bedingung ist nach Bonin/Gregory/Zierhan (2015, S. 13) nicht ausreichend erfüllt. Gleichwohl führen sie die Analyse durch und stellen die Ergebnisse vor. Im Vergleich zur berufsbezogenen Analyse gibt es in den USA und Deutschland deutlich mehr Beschäftigte in Berufen, die mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit (30 % bis 70 %) künftig vollständig automatisierbar sein werden, und weniger mit einer niedrigen oder hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit. So haben nach beiden Studien 12 Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland eine hohe Wahrscheinlichkeit von mehr als 70 Prozent, dass sie künftig vollständig automatisierbar sein werden, während es in den USA lediglich 9 Prozent sind.[9] Dabei hat nach Bonin/Gregory/Zierhan (2015, S. 15) anders als bei der berufsbasierten Übertragung die Verteilung der Beschäftigten in Deutschland nach der Automatisierungswahrscheinlichkeit nunmehr keine U-Form mehr, sondern ist bimodal mit lokalen Maxima bei Automatisierungswahrscheinlichkeiten von etwa 25 Prozent und etwa 60 Prozent; in beiden Studien ergibt sich für die USA eine Verteilung gleichen Typs. Die Verteilung ist also im Vergleich zur berufsbasierten Übertragung gestaucht, wodurch es nun deutlich weniger Beschäftigte mit sehr geringen oder sehr hohen Automatisierungswahrscheinlichkeiten gibt. Bonin/Gregory/Zierhan

8 Nach dem Maßstab der unten vorgestellten Replikationsstudie der OECD sollten die Tätigkeitsmerkmale Fingerfertigkeit, Beratung, Informationsaustausch mit Kollegen und Verkaufsaktivitäten die Automatisierungswahrscheinlichkeit jedenfalls nicht erhöhen (Nedelkoska/Quintini 2018). Den beiden ZEW-Studien zufolge erhöhen die genannten Merkmale jedoch alle (Arntz/Gregory/Zierahn 2016) oder teilweise (Bonin/Gregory/Zierhan 2015) die Automatisierungswahrscheinlichkeit.

9 Die Konzentration auf die Mitte könnte dadurch bedingt sein, dass der Zusammenhang zwischen den verwendeten Tätigkeitsstrukturen der PIAAC-Daten und den Automatisierungswahrscheinlichkeiten nicht sehr ausgeprägt ist (vgl. auch die unten vorgestellte Replikationsstudie von PricewaterhouseCoopers).

(2015) weisen die durchschnittlichen Automatisierungswahrscheinlichkeiten für sieben Niveaus beruflicher Qualifikation aus; danach nimmt die Automatisierungswahrscheinlichkeit mit der Qualifikation von 80 Prozent für Beschäftigte ohne Schul- und Berufsabschluss auf 18 Prozent für promovierte Beschäftigte ab (vgl. auch Abbildung 3 in Abschnitt 2.3). Damit korrespondierend hat das Viertel der Beschäftigten mit den höchsten Verdiensten im Durchschnitt eine deutliche geringere Automatisierungswahrscheinlichkeit als die Hälfte der Beschäftigten mit den geringsten Verdiensten. Nach Arntz/Gregory/Zierahn (2016) beträgt die durchschnittliche Automatisierungswahrscheinlichkeit in Deutschland 43 Prozent. Differenziert nach sieben Niveaus beruflicher Bildung nimmt der Anteil der Beschäftigten mit einem hohen Automatisierungsrisiko (mindestens 70 %) mit dem Bildungsniveau ab, während es bei Beschäftigten ohne Schul- und Berufsabschluss 82 Prozent sind, gibt es keine promovierten Beschäftigten mit einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit (vgl. auch Abbildung 4 in Abschnitt 2.3). Damit korrespondierend nimmt der Anteil mit der Beschäftigten mit einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeiten mit dem Verdienst ab.

PricewaterhouseCoopers hat den ZEW-Ansatz der tätigkeitsbasierten Übertragung mit den PIAAC-Daten der OECD (2016) repliziert und dabei etwas modifiziert und ihn zudem auf 29 Länder einschließlich Deutschland erweitert (Berriman/Hawksworth 2017; Hawksworth/Berriman/Goel 2018). Die Datenerhebung erfolgte in den meisten Ländern 2011/2012, in einigen erst 2014/2015 (OECD 2016, S. 46). Der Studie zufolge ist die vom ZEW bei der tätigkeitsbasierten Übertragung festgestellte Konzentration auf mittlere Automatisierungswahrscheinlichkeiten entscheidend durch die Auswahl der Variablen für die ökonometrische Schätzung bedingt: Berriman/Hawksworth (2017, S. 47) präsentieren die Ergebnisse für drei Varianten berücksichtigter Merkmale, die zu unterschiedlich stark gestauchten Verteilungen führen, im Extremfall zu einer unimodalen Verteilung. Mit einer ausdifferenzierten, allerdings nicht vollständig nachvollziehbaren Methode replizieren sie weitgehend die Verteilung der Automatisierungswahrscheinlichkeiten für die USA, die Frey/Osborne (2013) ursprünglich ermittelt haben. Nach Hawksworth/Berriman/Goel (2018) sind 37 Prozent der Beschäftigten in Deutschland auf Arbeitsplätzen tätig, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit künftig automatisierbar sein werden. Bei gering Qualifizierten sind es danach mit 48 Prozent und bei mittlerer Qualifikation mit 43 Prozent deutlich mehr, bei hoher Qualifikation mit 10 Prozent deutlich weniger (vgl. auch Abbildung 4 in Abschnitt 2.3).

Eine OECD-Studie repliziert den ZEW-Ansatz einer tätigkeitsbasierten Übertragung mit den PIAAC-Daten in modifizierter Form und erwei-

tert ihn auf 32 OECD-Länder (Nedelkoska/Quintini 2018, S. 40–61). Anders als ZEW und *PricewaterhouseCoopers* geht die Studie nicht von den von Frey/Osborne (2013) ermittelten Automatisierungswahrscheinlichkeiten aus, sondern verwendet lediglich deren Klassifikation von 70 US-Berufen als vollständig bzw. vollständig nicht automatisierbar. Für diese 70 Berufe wurde manuell nach passenden *unit groups* der internationalen Berufsklassifikation ISCO 2008 gesucht, für 63 Berufe gab es eine Entsprechung, wobei zwei SOC-Berufe dem gleichen ISCO-Beruf zugeordnet wurden, und sieben Berufe nicht zugeordnet werden konnten; insgesamt ergeben sich damit 62 ISCO-Berufe, die als entweder vollständig oder vollständig nicht automatisierbar betrachtet werden. Anders als den anderen Replikationsstudien lagen aus den PIAAC-Daten für die Beschäftigten Angaben zur ISCO-Berufsklassifikation nicht nur auf Ebene der 43 *sub-major groups*, sondern differenzierter auf Ebene der 436 *unit groups* vor. Zur Schätzung von Automatisierungswahrscheinlichkeiten wurden die Angaben von 4.656 PIAAC-Befragten aus Kanada verwendet, die in einem der 62 ISCO-Berufe beschäftigt waren.[10] Die aus der größeren Fallzahl von 4.656 resultierenden Freiheitsgrade bei der Schätzung seien gegenüber der Schätzung auf Basis der Daten für lediglich 70 SOC-Berufe ein Vorteil (Nedelkoska/Quintini 2018, S. 48). Durch Aggregation der Daten entstünde eine stärker ausgeprägte bimodale Verteilung, die hier zugunsten einer tendenziell unimodalen Verteilung vermieden werde. Für die ökonometrische Schätzung werden die Antworten auf zehn Fragen verwendet, die die drei Tätigkeitskategorien abbilden sollen, die Frey/Osborne (2013; 2017) auf absehbare Zeit nicht für automatisierbar halten: Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten, kreativ-intelligente Tätigkeiten und sozial-intelligente Tätigkeiten. Der Studie zufolge enthalten die PIAAC-Daten keine Angaben zu Pflege und Unterstützung von anderen, so dass sozial-intelligente Tätigkeiten unterschätzt und damit die künftige Automatisierbarkeit von entsprechenden Tätigkeiten überschätzt werden könnte. Nach den Schätzergebnissen wirken sich fünf der zehn Einflussgrößen signifikant entgegen der Erwartung aus: So verbessern eine erforderliche Fingerfertigkeit, das Lösen einfacher Probleme, berufliche Kommunikation mit Kolleg/inn/en, das Führen von Verhandlungen und Verkaufsaktivitäten die Möglichkeit einer Automatisierung (vgl. Tabelle 11 in Anhang B). Gleichwohl wird mit den Schätzergebnissen anschließend in Abhängigkeit von den Antworten auf die zehn Fragen für die PIAAC-Befragten in Beschäftigung aus 32 Ländern jeweils die Automatisierungswahrscheinlichkeit

10 Kanada wird verwendet, weil hier die Zahl der Befragten mit 26.880 deutlich größer als in allen anderen Ländern sei. Eine Begründung, weshalb die Schätzung nicht auf Basis der Daten für alle berücksichtigten Länder erfolgte, wird nicht gegeben.

berechnet. Aggregierte Ergebnisse werden für die 32 Länder, 38 der 43 *sub-major groups* der ISCO 2008, und 40 der 88 Wirtschaftsabteilungen ausgewiesen. Nach den Ergebnissen sind 52 Prozent der Tätigkeiten in Deutschland automatisierbar, im OECD-Durchschnitt sind es 47 Prozent. In Deutschland haben etwa 18 Prozent der Beschäftigten eine Wahrscheinlichkeit von mehr als 70 Prozent, dass ihr Arbeitsplatz künftig vollständig automatisierbar sein wird, weitere etwa 36 Prozent[11] haben eine Automatisierungswahrscheinlichkeit zwischen 50 Prozent und 70 Prozent.

Die OECD-Studie enthält eine weitere Replikation des ZEW-Ansatzes einer tätigkeitsbasierten Übertragung der US-Ergebnisse auf Deutschland (Nedelkoska/Quintini 2018, S. 95–101). Die Methodik ist weitgehend analog zum vorstehend beschriebenen Vorgehen auf Basis der PIAAC-Daten. Allerdings werden nun die beiden BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen der Jahre 2005/2006 und 2011/2012 verwendet, repräsentative Befragungen von etwa 20.000 deutschsprachigen Erwerbstätigen mit einer Arbeitszeit von mindestens zehn Stunden wöchentlich (Rohrbach-Schmidt 2009, S. 5; Rohrbach-Schmidt/Hall 2013, S. 16). Herangezogen werden die Angaben von deutschen Beschäftigten im Alter von 21 bis 65 Jahren. Sie dienen sowohl zur Schätzung der Determinanten der Automatisierungswahrscheinlichkeit als auch anschließend zu deren Berechnung auf Individualebene. Es werden 13 Variablen für die Abbildung der drei Tätigkeitskategorien verwendet, die Frey/Osborne (2013; 2017) auf absehbare Zeit nicht für automatisierbar halten. Von diesen 13 Variablen wirken nach den Schätzergebnissen zwei anders als erwartet: Schnelligkeit bei der Arbeit als Proxy für Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten und berufliche Kommunikation als Proxy für sozial-intelligente Tätigkeiten erhöhen die Automatisierungswahrscheinlichkeit (vgl. Tabelle 11 in Anhang B).[12] Die Verteilung der deutschen Beschäftigten 2011/2012 im Alter von 21 bis 65 Jahren nach der Automatisierungswahrscheinlichkeit ist bimodal (auf Basis der PIAAC-Daten: unimodal). 33 Prozent haben danach eine hohe Wahrscheinlichkeit von mehr als 70 Prozent, dass ihr Arbeitsplatz künftig vollständig automatisierbar sein wird, auf Basis der PIAAC-Daten sind es lediglich 18 Prozent. Nedelkoska/Quintini (2018, S. 98) mahnen angesichts dieser Diskrepanz zur Vorsicht bei der Interpretation der Ergebnisse dieser und ähnlicher Studien. Die Ergebnisse werden differenziert nach vier

11 Wert näherungsweise einer Abbildung entnommen (Nedelkoska/Quintini 2018, S. 49).

12 Nicht im Text erwähnt, jedoch nach den ausgewiesenen Schätzergebnissen erhöht zudem unerwartet das Erkennen und Schließen von Wissenslücken als Proxy für kreativ-intelligente Tätigkeiten die Automatisierungswahrscheinlichkeit.

Qualifikationsniveaus ausgewiesen. Danach nehmen sowohl der Anteil der Beschäftigten mit einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit als auch die durchschnittliche Automatisierungswahrscheinlichkeit mit der Qualifikation ab (vgl. auch Abbildungen 3 und 4 in Abschnitt 2.3). Ergebnisse werden zudem differenziert für 26 Berufe bzw. Berufsgruppen sowie nach Computernutzung, Ausbildungsdauer und Alter ausgewiesen.

Eine Studie der Universitäten Leuven (Belgien) und Utrecht (Niederlande) sowie der *London School of Economics* (LSE), ermittelt einen beruflich differenzierten Index für die Intensität von Routinetätigkeiten in 16 europäischen Staaten (einschließlich Deutschland) insgesamt (Goos/Manning/Salomons 2014). Ausgangspunkt bildet die Klassifizierung von Autor/Levy/Murnane (2003, S. 1293) für die USA. Sie haben fünf Merkmale des O*NET-Vorgängers *Dictionary of Occupational Titles* (DOT), einer Datenbank mit US-amerikanischen Berufen, herangezogen, um Aussagen über die Automatisierbarkeit von Berufen zu treffen. Autor/Dorn (2013, S. 1570) haben diese fünf zu drei Merkmalen verdichtet (manuelle, Routine- und abstrakte Tätigkeiten) und auf Basis der DOT, vierte Ausgabe 1977, den eingangs genannten Index konstruiert. Goos/Manning/Salomons (2014) haben die Berufe nach der von ihnen verwendeten Europäischen Arbeitskräfteerhebung (AKE) für die Jahre 1993 bis 2010 (für Deutschland statt dessen Stichprobe der Integrierten Arbeitsmarktbiografien – SIAB – für 1993 bis 2008) umgeschlüsselt auf die US-amerikanische Berufsklassifikation *Standard Occupational Classification* (SOC), für die Angaben zur Intensität von Routinetätigkeiten vorlagen. Anschließend erfolgte eine Umschlüsselung auf die internationale Berufsklassifikation *International Standard Classification of Occupations* (ISCO), Ausgabe 2008, und von dort auf die ISCO, Ausgabe 1988. Schließlich weisen Goos/Manning/Salomons (2014) für 21 der 28 *submajor groups* der ISCO, Ausgabe 1988, den eingangs genannten Index aus. Danach haben in den 16 europäischen Staaten Büroangestellte ohne Kundenkontakt im Durchschnitt den mit Abstand höchsten Routineanteil, den geringsten haben Biowissenschaftler/innen und Mediziner/innen. Eine Studie des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und der Universität Utrecht (Niederlande) ermittelt mit vergleichbarer Methodik für 27 europäische Staaten (einschließlich Deutschland) für acht der zehn *major groups* der ISCO, Ausgabe 1988, ebenfalls diesen Index (Gregory/Salomons/Zierahn 2018). Danach haben Bürokräfte und kaufmännische Angestellte im Durchschnitt den mit Abstand höchsten Routineanteil, den geringsten haben Wissenschaftler/innen.

Eine Studie des *McKinsey Global Institute* ermittelt für 46 Staaten, darunter Deutschland, das Automatisierungspotenzial von beruflichen Tätigkeiten (Manyika et al. 2017a). Die Studie basiert auf Daten aus dem *Occupational Information Network* (O*NET) für das Jahr 2014 für ungefähr 800 US-amerikanische Berufe mit Angaben, in welcher Häufigkeit über 2.000 Tätigkeiten zur Berufsausübung erforderlich sind. Die Studie legt 18 relevante Fähigkeiten aus den fünf Bereichen Sinneswahrnehmung, kognitive Fähigkeiten, Verarbeitung natürlicher Sprache, soziale und emotionale Fähigkeiten und physische Fähigkeiten fest. Anschließend erfolgt eine Zuordnung dieser 18 Fähigkeiten zu den 2.000 Tätigkeiten mit einem Gewicht für das erforderliche Niveau der jeweiligen Fähigkeit. Die Zuordnung und Gewichtung basiert auf einer Mischung aus Experteneinschätzungen und einem Algorithmus, der auf Schlüsselwörtern zur Beschreibung von Tätigkeiten und Fähigkeiten basiert. Anhand von Einschätzungen zur derzeitigen Automatisierbarkeit der 18 Fähigkeiten differenziert nach Niveau resultieren Ergebnisse zum Anteil der Tätigkeiten von US-Berufen, die mit der derzeit verfügbaren Technik bereits automatisierbar sind. Diese Ergebnisse wurden offenbar zu neun Berufsbereichen aggregiert und dann auf Deutschland übertragen (Manyika et al. 2017a, S. 131). Der Studie zufolge können in Deutschland 47,91 Prozent der beruflichen Tätigkeiten nach dem derzeitigen Stand der Technik automatisiert werden.[13] Zudem wird aus der Studie deutlich, dass die tatsächliche Substitution stark von der Geschwindigkeit der Adoption der Technik abhängt. Bei einer raschen Adaption wären in den berücksichtigten Ländern bis 2036 etwa 36 Prozent der beruflichen Tätigkeiten automatisiert, bei einer zögerlichen Adaption hingegen lediglich 2 Prozent.[14]

2.2 Originär nationale Studien zum Substitutionspotenzial

In Abschnitt 2.1 wurden Studien vorgestellt, die die Automatisierbarkeit von Berufen, Arbeitsplätzen oder beruflichen Tätigkeiten auf Basis von Einschätzungen zur Automatisierbarkeit von US-amerikanischen Berufen ermitteln. In diesem Abschnitt wird nun auf Studien eingegangen, die

13 Manyika et al. (2017a, S. 47), https://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/InternationalAutomation/TreeHistogram.

14 Zu Ergebnissen für Deutschland differenziert nach 19 Branchen vgl. https://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/InternationalAutomation/WhereMachinesCanReplaceHumans.

originär für Deutschland das Substitutionspotenzial von Berufen bzw. Tätigkeiten ermitteln.

Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) hat auf Basis von Einschätzungen zur Automatisierbarkeit der einzelnen Kernanforderungen deutscher Berufe (ohne Angehörige der regulären Streitkräfte) das Substituierbarkeitspotenzial ermittelt (Dengler/Matthes 2015a; 2015b; 2018b; Buch/Dengler/Matthes 2016; Vorarbeiten von Dengler/Matthes/Paulus 2014).[15] Ausgangspunkt ist die laufend aktualisierte Expertendatenbank BERUFENET der Bundesagentur für Arbeit, die alle in Deutschland bekannten Berufe enthält. Bei dem verwendeten Datenstand vom November 2013 enthielt die Datenbank 3.935 Kernberufe, denen 6.709 Arbeitsanforderungen (in der Datenbank als „Kompetenzen“ bezeichnet) zugeordnet waren. Kernberufe sind Berufe mit ihrer aktuellsten Bezeichnung. Nicht als Arbeitsanforderungen werden von der Studie allerdings u. a. *Soft Skills* (Flexibilität, Führungsfähigkeit, Teamfähigkeit, Zuverlässigkeit) aufgefasst, da sie nicht berufsspezifisch seien. Die Arbeitsanforderungen wurden von drei Codierer/innen der Bundesagentur für Arbeit unabhängig voneinander zu einem von fünf *Task*-Typen (analytische Nicht-Routine *Tasks*, interaktive Nicht-Routine-*Tasks*, kognitive Routine-*Tasks*, manuelle Routine-*Tasks*, manuelle Nicht-Routine-*Tasks*) zugeordnet. Diese fünf *Task*-Typen sind jeweils entweder ein Routine-*Task*, der definitionsgemäß mit dem derzeitigen Stand der Technik durch einen Computer bzw. eine computergesteuerte Maschine ausgeführt werden kann, oder ein Nicht-Routine-*Task*, bei dem dies derzeit nicht der Fall ist. Für jeden Beruf wurde dann anhand der Zahl der Arbeitsanforderungen, die für die Ausübung des Berufs unerlässlich sind (Kernanforderungen), der Anteil der Routine-*Tasks* ermittelt (ohne Berücksichtigung der inhaltlichen oder zeitlichen Bedeutung für den Beruf). Die Anteile der *Tasks* wurden auf verschiedene Klassifikationsebenen (KldB 2010) aggregriert und zudem für 140 Berufsgruppen und 36 Berufshauptgruppen der wichtigste *Task* ermittelt (Haupt-*Task*). Für die Aggregation auf fast 1.300 Berufsgattungen wurde eine Gleichverteilung der zu einer Berufsgattung gehörenden Berufe angenommen, die weitere Aggregation erfolgte gewichtet mit der Zahl der Beschäftigten im Jahr 2012. Insgesamt wären nach den Ergebnissen seinerzeit bei 15 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten mehr als 70 Prozent der Tätigkeiten durch einen Computer ausführbar gewesen. Zudem könnten bereits seinerzeit 46 Prozent bzw. 45,4 Prozent der Tätigkeiten von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Helfer- bzw. Fachkraftberufen durch einen Computer erledigt werden.

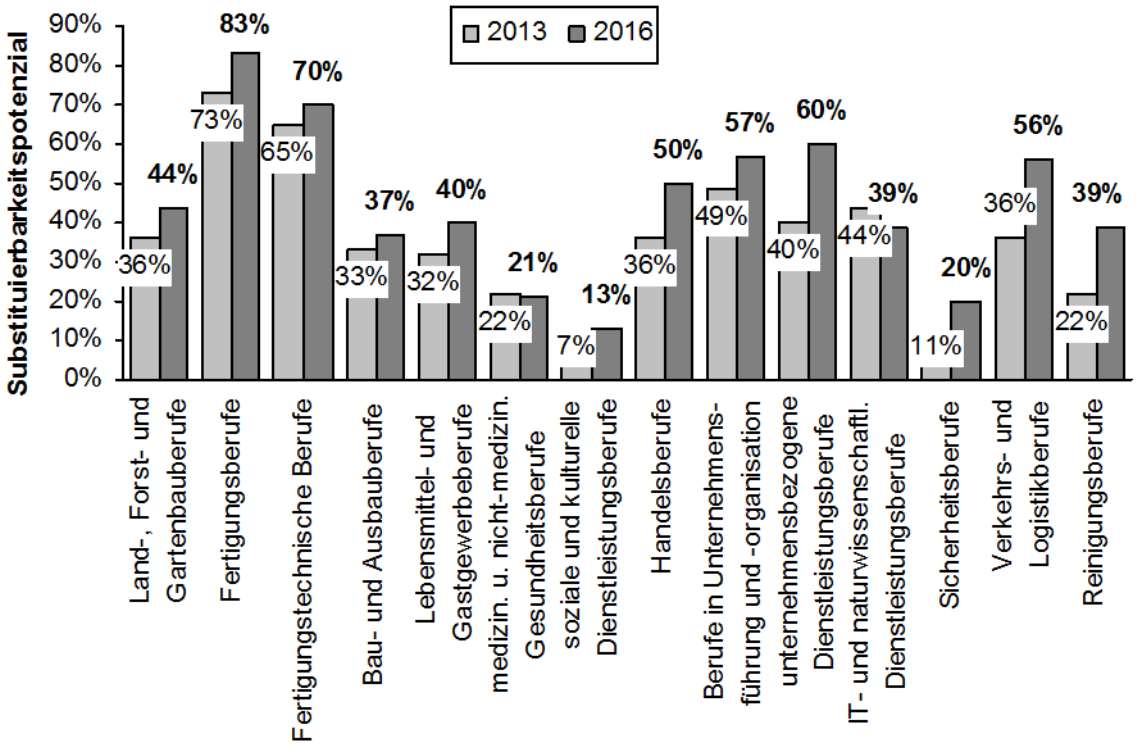
15 Zudem sind in der Reihe IAB regional mehrere Publikationen mit detaillierteren Darstellungen auf Ebene der Bundesländer erschienen.

Bei Beschäftigten in Berufen auf Spezialistenniveau (Meister-, Techniker-, Fachschul- oder Bachelorabschluss) sind es 33,4 Prozent und in Expertenberufen (mindestens vierjähriges abgeschlossenes Hochschulstudium) 18,8 Prozent (zu den vier Anforderungsniveaus auf Basis der KldB 2010 vgl. Tabelle 9 in Anhang A; zu den Ergebnissen vgl. auch Abbildung 3 in Abschnitt 2.3). Bei einer Differenzierung nach den 14 Berufssegmenten (KldB 2010) haben die Fertigungsberufe das höchste Substituierbarkeitspotenzial mit 73 Prozent (vgl. Abbildung 1). Tabelle 12 in Anhang C enthält Ergebnisse für 36 der 37 Berufshauptgruppen differenziert nach den vier Anforderungsniveaus, Tabelle 13 in Anhang C die vom IAB ergänzend zur Verfügung gestellten, bislang unveröffentlichten Ergebnisse für 140 Berufsgruppen (vgl. auch Abbildung 5 in Abschnitt 2.3) differenziert nach den vier Anforderungsniveaus (jeweils nach der KldB 2010). Die *Boston Consulting Group* gewichtet die IAB-Ergebnisse mit der Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten und ermittelt, dass etwa 40 Prozent aller „aktuellen" beruflichen Tätigkeiten durch Automatisierung substituierbar gewesen wären (Rentmeister et al. 2017).

Die IAB-Studie aus dem Jahr 2015 wurde 2018 mit Daten von 2016 aktualisiert (Dengler/Matthes 2018a; Dengler/Matthes/Wydra-Somaggio 2018; Dengler 2019a). Seinerzeit gab es in der Expertendatenbank BERUFENET knapp 4.000 Kernberufe und etwa 8.000 Arbeitsanforderungen. Für die Arbeitsanforderungen wurde wiederum von drei Codierern unabhängig voneinander recherchiert, ob es eine computergesteuerte Maschine oder einen Computeralgorithmus gibt, der die entsprechende Tätigkeit vollständig übernehmen kann. Nach den Ergebnissen hat insbesondere aufgrund des zwischen 2013 und 2016 erfolgten technischen Fortschritts das Substituierbarkeitspotenzial zugenommen. Danach haben 2016 insgesamt 25 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in einem Beruf gearbeitet, dessen Tätigkeiten zu mehr als 70 Prozent automatisierbar waren. In Helferberufen sind nun im Durchschnitt 58 Prozent der Tätigkeiten automatisierbar, in Fachkraftberufen 54 Prozent, in Spezialistenberufen 40 Prozent und in Expertenberufen 24 Prozent (vgl. auch Abbildung 3 in Abschnitt 2.3) Bei einer Differenzierung nach den 14 Berufssegmenten (KldB 2010) haben wie 2013 die Fertigungsberufe das höchste Substituierbarkeitspotenzial, nunmehr sind es 83 Prozent (vgl. Abbildung 1).[16]

16 Differenziertere Ergebnisse für verschiedene Berufsaggregate sollen noch im Jahr 2019 veröffentlicht werden (Dengler 2019b).

Abbildung 1: IAB-Substituierbarkeitspotenziale nach Berufssegmenten 2013 und 2016



Anmerkung: Berufssegmente nach der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010.
Quelle: Dengler/Matthes 2018a, S. 6.

An der Universität Hohenheim liegt der Ursprung für Entwicklung und Validierung des Arbeitsvermögen-Indexes, er wird inzwischen gemeinsam mit der Universität Nürnberg fortgeführt (Pfeiffer/Suphan 2015; 2019; Pfeiffer 2016a; 2016b; 2018a; 2018b). Der Index geht davon aus, dass einzelne berufliche Tätigkeiten nicht eindeutig entweder automatisierbar oder nicht automatisierbar sind, sondern dass dies auf einem Kontinuum einfacher oder schwieriger ist. Der Index basiert auf Daten der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2011/2012, einer repräsentative Befragung von etwa 20.000 deutschsprachigen Erwerbstätigen mit einer Arbeitszeit von mindestens zehn Stunden wöchentlich (Rohrbach-Schmidt/Hall 2013, S. 16). Der Index wird aus Antworten auf Fragen zur Häufigkeit des „Situatives Umgehens mit Komplexität“, von „Situativen Unwägbarkeiten“ und „struktureller Komplexitätszunahme“ sowie der „Relevanz von Erfahrungslernen“ bei der Arbeit insgesamt gebildet (vgl. Tabelle 2). Der Arbeitsvermögen-Index liegt zwischen null und eins, wobei geringe Werte ein geringes Arbeitsvermögen bedeuten. Der Mittel-

wert beträgt 0,56. 16,9 Prozent der Befragten haben einen Arbeitsvermögen-Index von null, für die übrigen entspricht die Häufigkeitsverteilung näherungsweise einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von 0,67. 74 Prozent der Befragten haben einen Index von über 0,5. Gering Qualifizierte ohne abgeschlossene Berufsausbildung haben im Durchschnitt lediglich einen Index von 0,38, Erwerbstätige mit Berufsausbildung von 0,54, mit Aufstiegsfortbildung 0,64 und mit einem akademischen Abschluss 0,61 (vgl. auch Abbildung 3 in Abschnitt 2.3). Männliche Erwerbstätige haben im Durchschnitt mit 0,60 einen höheren Arbeitsvermögen-Index als weibliche mit 0,51. Die im Durchschnitt höchsten Arbeitsvermögen-Indices haben Erwerbstätige im mittleren Alter (31 bis 50 Jahre). Eine Differenzierung nach 44 der 88 Wirtschaftsabteilungen der aktuellen Branchenklassifikation ergibt, dass bei Erwerbstätigen in der Gebäudebetreuung (einschließlich Garten- und Landschaftsbau) und in der Gastronomie der Arbeitsvermögen-Index mit 0,34 bzw. 0,39 deutlich unterdurchschnittlich ist, während er bei Erwerbstätigen in Betrieben, die Dienstleistungen der Informationstechnologie erbringen und Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse herstellen, mit jeweils 0,68 deutlich überdurchschnittlich ist.

Pfeiffer (2018a) überprüft mit verschiedenen Methoden die Validität des Arbeitsvermögen-Index. Von besonderem Interesse ist der exemplarische Abgleich von Einschätzungen zum Arbeitsvermögen auf Basis qualitativer Erhebungen (qualitative Befragungen, Arbeitsplatzbeobachtungen und Gruppendiskussionen) für vier Arten von Arbeitsplätzen (Montage, Maschinenbedienung, Instandhaltung, Konstruktion) in zwei Produktionsbetrieben der Automobilbranche im Vergleich mit quantitativen Erhebungen zum Arbeitsvermögen-Index in diesen Betrieben und ergänzend auch mit den Daten der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2011/12. Insgesamt kommen die Vergleiche zu plausiblen Ergebnissen. Bemerkenswert ist, dass für die in der Studie qualitativ betrachteten Tätigkeiten der Arbeitsvermögen-Index „diametral andere Aussagen generiert […] als in den prominent zitierten Studien, die diesen Tätigkeiten aktuell (Dengler/Mattthes 2015) oder zukünftig (Frey/Osborne 2017) das Potenzial einer praktisch vollständigen Ersetzbarkeit attestieren“ (Pfeiffer 2018a, S. 234). Pfeiffer (2018b, S. 218f) ermittelt zudem für weitere 18 ausgewählte Berufsgruppen Diskrepanzen zu den Ergebnissen von Frey/Osborne (2017).

Tabelle 2: Merkmale zur Konstruktion des Arbeitsvermögen-Indexes

Nr. der Frage	Frage
	Situatives Umgehen mit Komplexität
	Wie häufig kommt es bei Ihrer Arbeit vor, … (häufig/manchmal/nie)
F327_01	dass Sie auf Probleme reagieren und diese lösen müssen?
F327_02	dass Sie eigenständig schwierige Entscheidungen treffen müssen?
F327_06	dass Sie mit anderen Personen beruflich kommunizieren müssen?
	Situative Unwägbarkeiten
	Wie häufig kommt es bei Ihrer Arbeit vor, … (häufig/manchmal/selten/nie)
F411_01	dass Sie unter starkem Termin- oder Leistungsdruck arbeiten müssen?
F411_06	dass Sie bei der Arbeit gestört oder unterbrochen werden, z. B. durch Kollegen, schlechtes Material, Maschinenstörungen oder Telefonate?
F411_08	dass Dinge von Ihnen verlangt werden, die Sie nicht gelernt haben oder die Sie nicht beherrschen?
F411_09	dass Sie verschiedenartige Arbeiten oder Vorgänge gleichzeitig im Auge behalten müssen?
F411_11	dass auch schon ein kleiner Fehler oder eine geringe Unaufmerksamkeit größere finanzielle Verluste zur Folge haben kann?
F411_13	dass Sie sehr schnell arbeiten müssen?
F700_09	dass Sie nicht alle notwendigen Informationen erhalten, um Ihre Tätigkeit ordentlich ausführen zu können?
	Strukturelle Komplexitätszunahme
	Wurden in den letzten zwei Jahren … (ja/nein)
F1001_01	neue Fertigungs- oder Verfahrenstechnologien eingeführt?
F1001_02	neue Computerprogramme eingeführt? (nicht nur neue Versionen?)
F1001_03	neue Maschinen oder Anlagen eingeführt?
F1001_04	neue oder deutlich veränderte Produkte oder Werkstoffe eingesetzt?
F1001_05	neue oder deutlich veränderte Dienstleistungen erbracht?
F1001_06	wesentliche Umstrukturierungen oder Umorganisationen vorgenommen […]?

Nr. der Frage	Frage
	Veränderung in den letzten zwei Jahren (zugenommen/gleich geblieben/abgenommen)
F1001_10	Wie haben sich Stress und Arbeitsdruck verändert?
	Relevanz Erfahrungslernen
	Veränderung in den letzten zwei Jahren (zugenommen/gleich geblieben/abgenommen)
F401	Zur Ausübung der Tätigkeit ist eine längere Einarbeitung im Betrieb erforderlich. (ja/nein)

Anmerkung: Der Arbeitsvermögen-Index basiert auf der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2011/2012, auf dessen Erhebungsinstrument beziehen sich die angegebenen Fragen.
Quelle: Pfeiffer/Suphan 2015, S. 35f.

Auch das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) geht wie der Arbeitsvermögen-Index von Pfeiffer bei seinem Index zum Ersetzungspotenzial ebenfalls auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen von einem Kontinuum der Ersetzbarkeit aus (Helmrich et al. 2016, S. 21–31; Lewalder et al. 2018, S. 3–10).[17] Der Index gibt für jeden einzelnen Arbeitsplatz das Ersetzungspotenzial bzw. die Routineinhalte an, kann jedoch nicht als Wahrscheinlichkeit interpretiert werden. Bei der Auswahl der Operationalisierung von Arbeitsanforderungen, die sich nur schwer ersetzen lassen, orientieren sich die Autoren an Frey/Osborne (2013; 2017): (1) Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten werden durch die Häufigkeit von Reparaturen bzw. Instandsetzungen, (2) kreativ-intelligente Tätigkeiten durch die Häufigkeit der Verbesserung bisheriger Verfahren bzw. des Ausprobierens von Neuem und (3) sozial-intelligente Tätigkeiten durch die Häufigkeit von Ausbilden, Lehren, Unterrichten, Erziehen abgebildet; (4) außerdem werden leicht ersetzbare Tätigkeiten durch einen Routineindex anhand zweier Merkmale abgebildet (vgl. Tabelle 3). Mit diesen vier Einflussgrößen wird auf Grundlage einer Faktorenanalyse der Index zum Ersetzungspotenzial auf Individualebene ermittelt, dessen Minimum (schwierige Ersetzbarkeit) bei –2,46 (2011/12) bzw. –2,23 (2017/18) und dessen Maximum (leichte Ersetzbarkeit) bei 2,60 (2011/12) bzw. 2,77 (2017/18) liegt. Der Index ist mit einem Mittelwert von null (2011/12) bzw. –0,001 (2017/18) annähernd normalverteilt. Auf Basis der 2011/12 durchgeführten Erhebung wird der Index aggre-

17 Für eine im Detail abweichende weitere Analysen des BIBB vgl. Tiemann (2016a; 2016b).

giert für die 54 BIBB-Berufsfelder und die 12 BIBB-Berufshauptfelder ausgewiesen. Insgesamt ist in den Berufshauptfeldern mit wissenschaftlichen Berufen das Ersetzungspotenzial im Durchschnitt am geringsten, am höchsten ist es im Durchschnitt in Gastronomie- und Reinigungsberufen sowie den Verkehrs-, Lager-, Transport-, Sicherheits- und Wachberufen. Auf der Ebene der BIBB-Berufsfelder haben Hilfsarbeiter/innen ohne nähere Tätigkeitsangabe und Reinigungs- und Entsorgungsberufe das höchste und soziale Berufe und Lehrer/innen das geringste Ersetzungspotenzial. Auf Basis der 2017/18 durchgeführten Erhebung wurde der Index für 143 der 144 Berufsgruppen ermittelt. Ohne Berücksichtigung von 35 Berufsgruppen mit weniger als 20 Befragten werden von den verbleibenden 108 Berufsgruppen die jeweils zehn Berufsgruppen mit dem höchsten und geringsten Index ausgewiesen. Danach haben insbesondere Berufe mit Lehrtätigkeiten ein geringes Ersetzungspotenzial und Reinigungs- und Verkehrsberufe ein hohes Ersetzungspotenzial. Ergänzend wurden vom BIBB die bislang unveröffentlichten Ergebnisse für alle 108 Berufsgruppen zur Verfügung gestellt (vgl. Abbildung 5 in Abschnitt 2.3 und Tabelle 13 in Anhang C).

Tabelle 3: Merkmale des BIBB-Indexes zum Ersetzungspotenzial

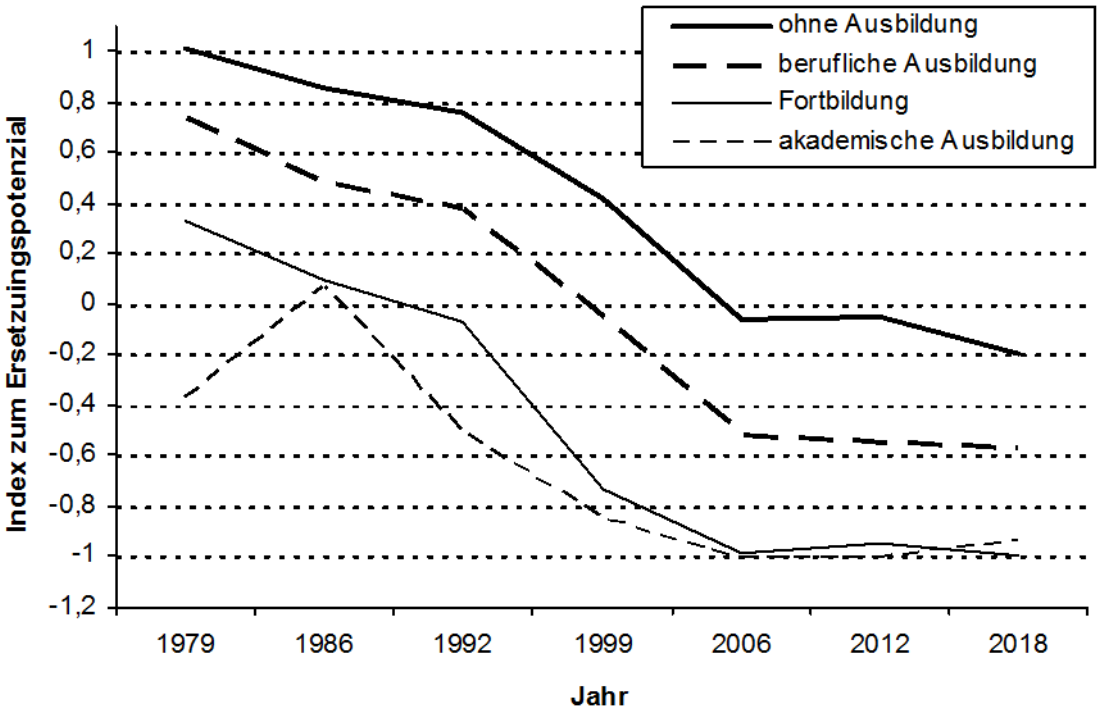
Tätigkeitskategorie	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)
Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten	F306	Reparieren, Instandsetzen
kreativ-intelligente Tätigkeiten	F411_05	Verfahren verbessern oder Neues ausprobieren
sozial-intelligente Tätigkeiten	F312	Ausbilden, Lehren, Unterrichten, Erziehen
Routine	F411_02	Arbeitsdurchführung bis in alle Einzelheiten vorgeschrieben
	F411_03	Wiederholung von Arbeitsgängen bis in alle Einzelheiten

Anmerkung: Nummern der Fragen beziehen sich auf die Erhebungsinstrumente der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen 2005/2006 und 2011/2012.
Quelle: Helmrich et al. 2016, S. 23; Lewalder et al. 2018, S. 5; Erhebungsinstrumente der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen 2005/2006 und 2011/2012.

Zudem hat das BIBB die Entwicklung des Indexes für das Ersetzungspotenzial für deutsche Erwerbstätige von 15 bis 65 Jahren in Westdeutschland (einschließlich Berlin-West) auf Basis der ersten sechs Wellen der

BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung von 1979 bis 2012 (Helmrich et al. 2016, S. 31–45) sowie von 2018 (Tiemann 2019) ermittelt. Der Index wird für vier Qualifikationsniveaus, bis 2012 auch für die 54 BIBB-Berufsfelder und die 12 BIBB-Berufshauptfelder ausgewiesen. Danach war in allen 12 BIBB-Berufshauptfeldern das Ersetzungspotenzial im Durchschnitt im Zeitverlauf stets rückläufig, nur bei den Lehrberufen gab es 1986 einen sprunghaften Anstieg der Routineinhalte. Der Studie zufolge resultiert dieser Anstieg möglicherweise daraus, dass Lehrer/innen seinerzeit aufgrund der Arbeitsmarktlage nicht mehr alle in den Schuldienst gelangten. Differenziert nach vier Qualifikationsniveaus nimmt der Index zum Ersetzungspotenzial mit dem Qualifikationsniveau und tendenziell auch im Zeitverlauf ab (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial nach Qualifikationsniveau im Zeitverlauf



Anmerkung: Die dargestellten Mittelwerte des Indexes zum Ersetzungspotenzial beziehen sich auf deutsche Erwerbstätige von 15 bis 65 Jahren in Westdeutschland (einschließlich Berlin-West).
Quelle: Helmrich et al. 2016, S. 31–45; Tiemann 2019.

Das BIBB hat überdies in einer weiteren Analyse anhand der fünften Welle des BIBB-Qualifizierungspanels 2015 partiell analog zum Index

zum Ersetzungspotenzial auf Individualebene einen Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindexes (QPE) auf Betriebsebene für drei nach Qualifikationsniveau differenzierte Beschäftigtengruppen berechnet (Helmrich et al. 2016, S. 65–68). Durch Fortschreibung der Ergebnisse aus den Erhebungswellen 2012, 2015 und 2016 wurden zudem der QPE für 2016, 2017 und 2018 ermittelt (Lewalder et al. 2018, S. 10–16). Das BIBB-Qualifizierungspanel mit etwa 3.500 befragten Betrieben ist repräsentativ für die Betriebe mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Deutschland. Ausgangspunkt sind Angaben der Leitungsebene, wie häufig sieben verschiedene Arten von Tätigkeiten jeweils von den Beschäftigten differenziert nach drei Qualifikationsniveaus (einfache, qualifizierte und hochqualifizierte Tätigkeiten) ausgeführt werden. Mit diesen vier Einflussgrößen ermittelt die Studie auf Grundlage einer Hauptkomponentenanalyse den QPE auf Betriebsebene für die drei Beschäftigtengruppen (Differenzierungen nach Berufen sind also nicht möglich). Wiederum kann der Index nicht als Wahrscheinlichkeit interpretiert werden, interessant sind vielmehr die Relationen zueinander. Der Index wird aggregiert für 45 Wirtschaftszweige ausgewiesen (vgl. Tabelle 14 in Anhang C).[18] Der Index hat bei mehreren Branchen innerhalb des kurzen Zeitraums von 2015 bis 2018 eine erhebliche Dynamik. Der Studie zufolge dürfte die Ursache für die Dynamik zumindest von 2016 bis 2018 darin liegen, dass die Möglichkeiten der Automatisierung zugenommen haben (etwa Forschung und Entwicklung) bzw. zwischenzeitlich bestehende Möglichkeiten genutzt wurden (Beherbergung und Gastronomie).[19]

Jüngst hat das BIBB hauptsächlich auf Basis des Indexes zum Ersetzungspotenzial für 2018 und ergänzend anhand des Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindexes (QPE) einen neuen Index zum Ersetzungspotenzial entwickelt (Lewalder et al. 2018, S. 16–19). Zunächst wurden jene befragten Erwerbstätigen, deren bisheriger Index zum Ersetzungspotenzial zu den höchsten 30 Prozent gehört, als Personen mit einem hohen Ersetzbarkeitspotenzial eingestuft. Definitionsgemäß haben damit 30 Prozent aller Erwerbstätigen ein hohes Ersetzungspotenzial. Anschließend wurde bei fehlenden Werten oder zu kleinen Fallzahlen des QPE zur Ergänzung herangezogen. Ergebnisse zum so ergänzten Index zum Ersetzungspotenzial werden für die 37 Berufshauptgruppen (KldB 2010) (vgl. Tabelle 12 in Anhang C) und 20 zusammengefasste Branchen ausgewiesen. Überdurchschnittlich hoch ist danach der Anteil an

18 Ergebnisse für die drei Beschäftigtengruppen werden nicht ausgewiesen.

19 Die Interpretation erscheint insofern fragwürdig, weil sich in den beiden genannten Branchen die skizzierte Entwicklung ausschließlich oder ganz überwiegend von 2016 bis 2017 vollzogen haben müsste.

Beschäftigten mit hoher Ersetzbarkeit in den Branchen „Verkehr, Lagerei, Post“ und „Einzelhandel, Tankstellen“ und in den Berufshauptgruppen „Reinigungsberufe“, „Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten“ und übrige „Verkehrs- und Logistikberufe“.

2.3 Zusammenfassung und Zwischenfazit

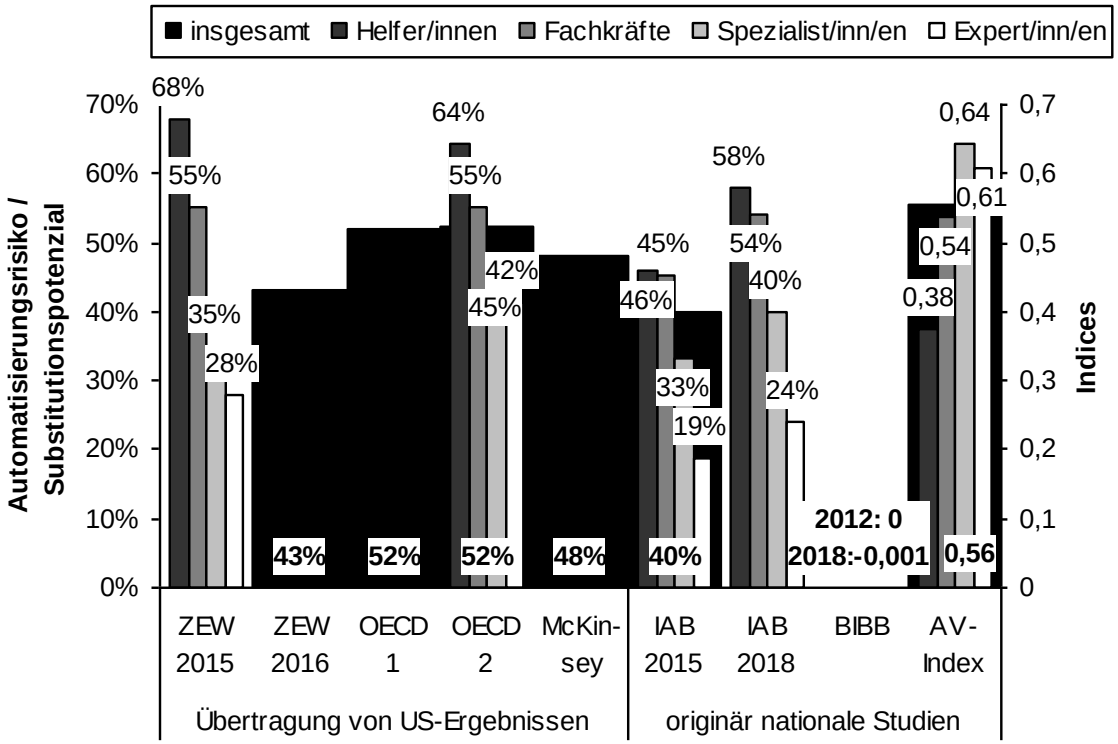
In diesem Kapitel wurden verschiedene Studien vorgestellt, die sich mit den technischen Möglichkeiten der Automatisierbarkeit von Berufen, Arbeitsplätzen bzw. Tätigkeiten befassen. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Methoden der vorgestellten Studien.

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse verschiedener Studien zu Automatisierungswahrscheinlichkeiten und Substitutionspotenzialen sowie den BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial und den Arbeitsvermögen-Index. Nach den Studien von ZEW und OECD, die auf der Übertragung von Ergebnissen für US-amerikanische Berufen basieren, haben Erwerbstätige bzw. Beschäftigte in Deutschland im Durchschnitt eine Wahrscheinlichkeit von 43 Prozent bis 52 Prozent, dass ihr Beruf bzw. ihr Arbeitsplatz künftig – in etwa ein bis zwei Dekaden – vollständig automatisierbar sein wird.[20] Dazu passend sind nach der Studie des *McKinsey Global Institute* 48 Prozent aller beruflichen Tätigkeiten mit der derzeitigen Technik automatisierbar. Auch die Ergebnisse der beiden IAB-Studien zum Anteil der beruflichen Tätigkeiten von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, die mit dem Stand der Technik von 2013 bzw. 2016 substituiert werden können, erweitern die Bandbreite nur geringfügig auf 40 Prozent nach unten.[21] Der BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial und der Arbeitsvermögen-Index können nur sinnvoll im Vergleich verschiedener Subgruppen zueinander interpretiert werden. Den vier Studien zufolge, die ihre Ergebnisse nach Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau differenzieren, sinkt die Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. das Substituierbarkeitspotenzial mit diesem Niveau, wobei allerdings das Ausmaß der Unterschiede deutlich verschieden ist. Davon abweichend haben Erwerbstätige mit Fortbildung einen etwas höheren Arbeitsvermögen-Index als Akademiker/innen.

20 Bonin/Gregory/Zierhan (2015) weisen zwar keine durchschnittliche Automatisierungswahrscheinlichkeit aus, jedoch weisen die nach Qualifikationsniveau differenzierten Ergebnisse darauf hin, dass sie innerhalb der angegebenen Bandbreite liegen dürfte.

21 Das IAB weist für 2016 zwar kein durchschnittliches Substituierbarkeitspotenzial aus, jedoch weisen die nach Anforderungsniveau differenzierten Ergebnisse darauf hin, dass es innerhalb der angegebenen Bandbreite liegen dürfte.

Abbildung 3: Automatisierungswahrscheinlichkeit und Substitutionspotenzial sowie Indices zum Ersetzungspotenzial und Arbeitsmögen nach Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau

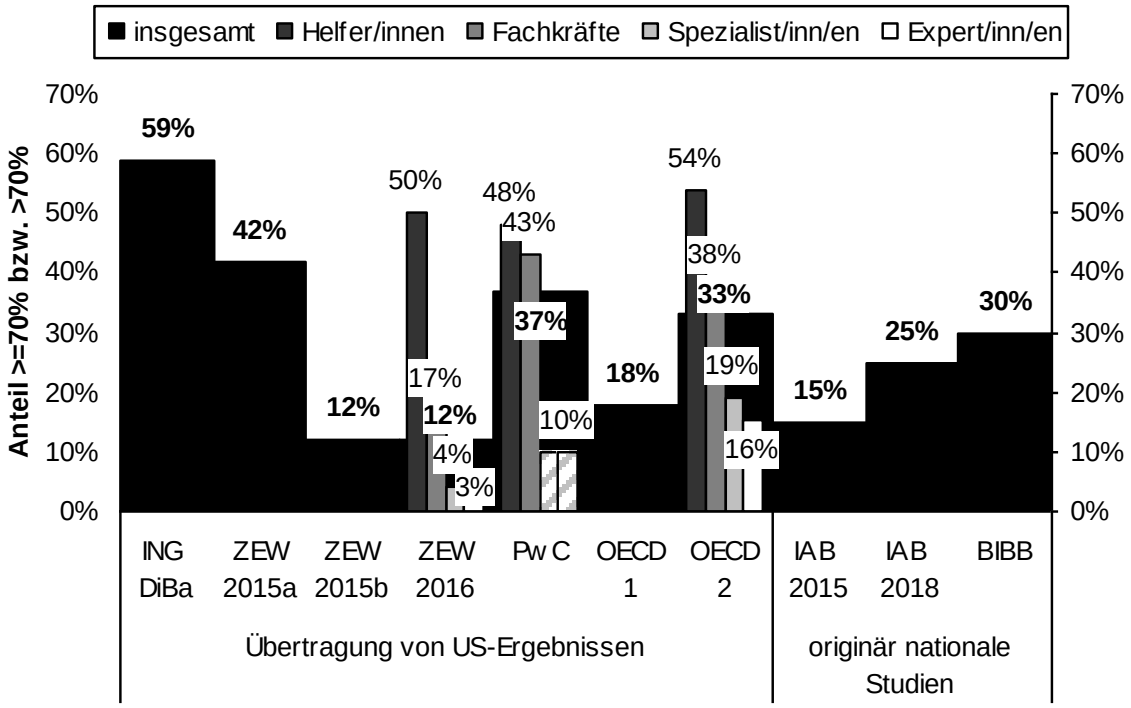


Anmerkung: ZEW/OECD: durchschnittliche Wahrscheinlichkeit von Erwerbstätigen bzw. Beschäftigten, dass ihr Beruf bzw. Arbeitsplatz künftig – in etwa ein bis zwei Dekaden – vollständig automatisierbar sein wird; ZEW 2015: tätigkeitsbasierte Übertragung von US-Ergebnissen auf Deutschland; Werte aus Abbildung abgelesen, daher ungenau; dargestellt sind vier von sieben Qualifikationsniveaus: Sekundarbereich I, Sekundarbereich II, Fachschul-/Berufsakademie-Abschluss, Universitäts-/Hochschulabschluss; ohne Elementar-/Primarbereich (Automatisierungswahrscheinlichkeit: 80 %), Postsekundarer nichttertiärer Bereich (69 %), Promotion (18 %); ZEW 2015: berufsbasierte Übertragung von US-Ergebnissen auf Deutschland; OECD 1: Ergebnisse auf Basis der PIAAC-Daten; OECD 2: Ergebnisse auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung; Mittelwert zwischen 50,8 Prozent und 53,9 Prozent; McKinsey: durchschnittlicher Anteil der beruflichen Tätigkeiten, die mit der derzeitigen Technik automatisiert werden können; IAB: durchschnittliches Substituierbarkeitspotenzial nach Anforderungsniveau (KldB 2010); BIBB: durchschnittlicher Index zum Ersetzungspotenzial; AV-Index: durchschnittlicher Arbeitsvermögen-Index von Pfeiffer (geringe Werte weisen auf ein hohes Substitutionspotenzial hin) nach Qualifikationsniveau: ohne Berufsabschluss, Berufsausbildung, Fortbildung, Hochschule.

Quelle: ZEW 2015: Bonin/Gregory/Zierhan 2015, S. 16; ZEW 2016: Arntz/Gregory/Zierahn 2016, S. 33; OECD: Nedelkoska/Quintini 2018, S. 98, 100; McKinsey: Manyika et al. 2017a, S. 47, https://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/InternationalAutomation/TreeHistogram; IAB 2015: Dengler/Matthes 2015b, S. 4; Rentmeister et al. 2017, S. 3; IAB 2018: Dengler/Matthes 2018a, S. 1; BIBB: Lewalder et al. 2018, S. 6f; AV-Index: Pfeiffer/Suphan 2015, S. 40, eigene Berechnungen.

Anknüpfend an die viel beachtete Studie von Frey/Osborne (2013; 2017) für die USA weisen mehrere Studien den Anteil derjenigen aus, die einen Beruf ausüben bzw. einen Arbeitsplatz innehaben, der eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. ein hohes Substitutionspotenzial hat (vgl. Abbildung 4). Die Studienergebnisse haben eine enorme Bandbreite: Den Studien zufolge haben zwischen 12 Prozent und 59 Prozent eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. ein hohes Substitutionspotenzial von mindestens bzw. mehr als 70 Prozent. Diese Bandbreite ergibt sich auch allein für die Studien, die auf der Übertragung von Ergebnissen für US-amerikanische Berufe basieren. Die beiden OECD-Ergebnisse basieren auf der gleichen Methodik, ihre Diskrepanz (18 Prozent vs. 33 %) resultiert aus der Verwendung unterschiedlicher Datensätze (Nedelkoska/Quintini 2018, S. 98). Die beiden originär für Deutschland erstellten IAB-Studien, die mit vergleichbarer Methodik auf Daten von 2013 und 2016 basieren, erlauben einen Zeitvergleich: Nach den IAB-Ergebnissen ist binnen drei Jahren der Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Berufen mit einem hohen Substituierbarkeitspotenzial von 15 Prozent auf 25 Prozent gestiegen. Bei dem ausgewiesenen Anteil von 30 Prozent mit einem hohen Ersetzungspotenzial nach der BIBB-Studie handelt es sich nicht um ein Ergebnis, sondern um eine Setzung, die den Vergleich unterschiedlicher Subgruppen erlaubt. Drei Studien kommen zu dem qualitativ übereinstimmenden Ergebnis, dass mit dem Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau der Anteil derjenigen mit einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit abnimmt.

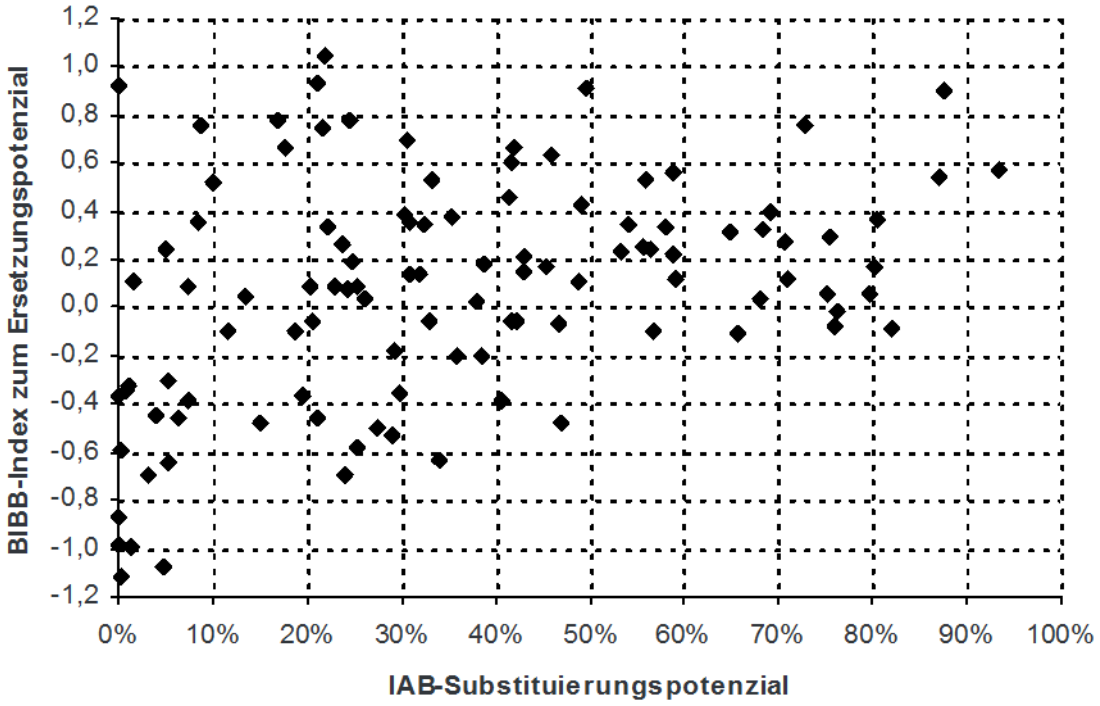
Abbildung 4: Anteil der Erwerbstätigen bzw. Beschäftigten mit hoher Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. hohem Substitutionspotenzial nach Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau



Anmerkung: Übertragung von US-Ergebnissen: Anteil derjenigen, deren Beruf bzw. Arbeitsplatz künftig – in etwa ein bis zwei Dekaden – mit einer hohen Wahrscheinlichkeit (mindestens bzw. mehr als 70 %) automatisierbar sein wird; IAB: Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Berufen mit einem hohen Substituierbarkeitspotenzial (mehr als 70 %); BIBB: Anteil der Erwerbstätigen mit einem hohen Index zum Ersetzungspotenzial beträgt definitionsgemäß 30 Prozent; ZEW 2015a: berufsbasierte Übertragung; ZEW 2015b: tätigkeitsbasierte Übertragung; ZEW 2016: dargestellt sind vier von sieben Qualifikationsniveaus: Sekundarbereich I, Sekundarbereich II, Fachschul-/Berufsakademie-Abschluss, Universitäts-/Hochschulabschluss; ohne Elementar-/Primarbereich (hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit: 82 %), Postsekundarer nicht-tertiärer Bereich (12 %), Promotion (0 %); PwC: Qualifikationsniveaus: gering, mittel, hoch; OECD 1: Ergebnisse auf Basis der PIAAC-Daten; OECD 2: Ergebnisse auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung.
Quelle: ING DiBa: Brzeski/Burk 2015, S. 1; ZEW 2015: Bonin/Gregory/Zierhan 2015, S. 10, 14; ZEW 2016: Arntz/Gregory/Zierahn 2016, S. 33f; PwC: Hawksworth/Berriman/Goel 2018, S. 16, 32; OECD: Nedelkoska/Quintini 2018, S. 98, 100; IAB 2015: Dengler/Matthes 2015b, S. 6; IAB 2018: Dengler/Matthes 2018a, S. 8; BIBB: Lewalder et al. 2018, S. 17.

Zum Substituierbarkeitspotenzial im Jahr 2013 (IAB) und zum BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial enthält der Anhang C Ergebnisse für 36 bzw. 37 Berufshauptgruppen und für die meisten der 144 Berufsgruppen, zum Substituierbarkeitspotenzial differenziert nach vier Anforderungsniveaus (KldB 2010). Abbildung 5 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für 107 der 144 Berufsgruppen (KldB 2010). Daraus ist erkennbar, dass auf Ebene der Berufsgruppen die Korrelation zwischen dem vom IAB für 2013 ermittelten Substituierbarkeitspotenzial und dem vom BIBB für 2018 ermittelten Index zur Ersetzungspotenzial nicht sehr ausgeprägt ist.

Abbildung 5: IAB-Substituierungspotenzial 2013 und BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial 2018 nach Berufsgruppen



Anmerkung: Berücksichtigt sind 107 von 144 Berufsgruppen nach der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010; ohne Angehörige der regulären Streitkräfte und ohne Berufsgruppen mit weniger als 20 Befragten in der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2017/18; IAB: nur sozialversicherungspflichtig Beschäftigte; BIBB: deutschsprachige Erwerbstätige ab 15 Jahren mit einer Arbeitszeit von mind. 10 Std. wtl.
Quelle: IAB: Dengler/Matthes 2015b und Dengler 2019b; BIBB: Lewalder et al. 2018, S. 3–10 und Tiemann 2019.

Die (geringe) Korrelation zwischen dem IAB-Substituierbarkeitspotenzial und dem BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial auf Ebene der 107 Berufsgruppen lässt sich auch anhand von drei statistischen Kennzahlen verdeutlichen. Alle drei Kennzahlen haben einen Wertebereich von –1 bis +1, wobei –1 eine perfekte negative Korrelation, null keine Korrelation und +1 eine perfekte positive Korrelation bedeuten. Im Idealfall sollte ein linearer Zusammenhang bestehen. Ein geeignetes Maß für Richtung und Stärke einer linearen Korrelation ist der Korrelationskoeffizient nach Pearson. Vorliegend hat er einen Wert von 0,39, was auf eine mäßige positive lineare Korrelation hinweist. Geht man alternativ davon aus, dass zwar kein linearer Zusammenhang bestehen muss, jedoch zumindest irgendeine – durch eine beliebige Funktion beschriebene – positive Korrelation bestehen sollte, dann können zwei verschiedene Rangkorrelationskoeffizienten als Maß dienen. Vorliegend hat der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman einen Wert von 0,37 und Kendalls Tau einen Wert von 0,25. Auch danach gibt es also lediglich eine mäßige positive Korrelation zwischen den beiden Kennzahlen.

Die vorgestellten Studien zur Automatisierbarkeit von Berufen, Arbeitsplätzen bzw. Tätigkeiten in Deutschland sollten aus verschiedenen Gründen nur mit größter Vorsicht interpretiert werden:

- Offenbar gibt es eine Neigung, die Ersetzbarkeit von Arbeit durch Maschinen zu überschätzen (Autor 2014). Dies hängt nach Autor (2014) damit zusammen, dass Menschen alltägliche Fähigkeiten besitzen und einsetzen, die selbstverständlich erscheinen, diese jedoch gleichwohl nicht präzise beschreiben können (Polanyis Paradoxon). Von dieser Problematik dürften insbesondere die Studien auf Grundlage der Automatisierbarkeit von US-Berufen sowie des BIBB zum Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex und des IAB zum Substituierbarkeitspotenzial betroffen sein, die alle auf Einschätzungen von Expert/inn/en zur Automatisierbarkeit von Berufen bzw. Tätigkeiten basieren (vgl. auch Pfeiffer/Suphan 2015, S. 22; Lewalder et al. 2018, S. 8). Insoweit dürften diese Studien die Automatisierbarkeit überschätzen.
- Etliche Studien basieren auf Einschätzungen zur Automatisierbarkeit von Berufen in den USA, die mit unterschiedlichen Methoden u. a. auf Deutschland übertragen wurden. Daraus resultieren verschiedene Unschärfen:
  - Allen Studien, die mit Ergebnissen von Frey/Osborne (2013; 2017) für die USA deren Ansatz für Deutschland und ggf. andere Staaten replizieren, basieren auf der Identifikation von 70 US-Berufen, die von Expert/inn/en entweder als vollständig oder als vollständig nicht automatisierbar eingeschätzt werden. Zum einen ist die em-

pirische Basis mit 70 US-Berufen sehr klein. Zum anderen liegen den Einschätzungen keine nachvollziehbaren Begründungen oder replizierbare Kriterien zugrunde. Dies hat zur Folge, dass nicht die gleichen Kriterien, die zur Identifikation der 70 US-Berufe verwendet wurden, für die Ermittlung der Automatisierbarkeit anderer Berufe herangezogen werden können. Insoweit sind sowohl die Studie von Frey/Osborne (2013; 2017) als auch alle Replikationsstudien inkonsistent.

- Nach Bonin/Gregory/Zierhan (2015, S. 11f) müssen für eine berufsbasierte Übertragung die Berufe in Deutschland mit jenen der USA vergleichbar sein, was jedoch nicht der Fall sei. Diese Problematik dürfte neben der genannten ZEW-Studie auch die Studien der ING DiBa (Brzeski/Burk 2015) und des McKinsey Global Institute (Manyika et al. 2017a) und vermutlich auch die Studie von Goos/Manning/Salomons (2014) betreffen.
- Bonin/Gregory/Zierhan (2015, S. 13) weisen darauf hin, dass sich für eine tätigkeitsbasierte Übertragung die Tätigkeitsstrukturen zwischen Arbeitsplätzen mit hoher und geringer Automatisierungswahrscheinlichkeit ausreichend unterscheiden müssen, was jedoch nicht der Fall sei. Diese Problematik dürfte neben der genannten ZEW-Studie auch eine weitere ZEW-Studie (Arntz/Gregory/Zierahn 2016) sowie die Studie von PricewaterhouseCoopers (Berriman/Hawksworth 2017; Hawksworth/Berriman/Goel 2018) betreffen.
- Für eine Übertragung ist stets eine Zuordnung von US-amerikanischen Berufen zu Berufen internationaler und ggf. deutscher Berufsklassifikationen erforderlich. Eine solche Zuordnung ist nicht immer eindeutig möglich. Daraus resultieren Unschärfen ggf. von erheblichem Ausmaß.
- Die Ergebnisse der tätigkeitsbasierten Übertragung ist offenbar sehr sensitiv gegenüber der Auswahl an Variablen, anhand derer die Übertragung erfolgt. So zeigen Berriman/Hawksworth (2017, S. 47) für die tätigkeitsbasierte Übertragung, dass je nach Variablenauswahl eine unimodale oder bimodale Verteilung der Automatisierungswahrscheinlichkeiten resultiert. Dementsprechend unterscheiden sich die Anteile jeweils derjenigen mit geringer bzw. hoher Automatisierungswahrscheinlichkeit zwischen den Studien erheblich.
- Beide Varianten der OECD-Studie zur Übertragung von US-Ergebnissen auf Deutschland basieren auf ökonometrischen Schätzungen, denen zufolge bestimmte, a priori als schwer automatisierbar angesehene berufliche Tätigkeiten die Automatisie-

rungswahrscheinlichkeit erhöhen (Nedelkoska/Quintini 2018, S. 40–61, 95–101).

- Speziell die IAB-Berechnungen zum Substituierbarkeitspotenzial weisen folgende Unschärfen auf:
  - Bei den vom IAB berücksichtigten Arbeitsanforderungen wurden Soft Skills explizit ausgeschlossen (Dengler/Matthes/Paulus 2014, S. 15). Diese dürften jedoch schwer automatisierbar sein. Insoweit dürfte das Substituierbarkeitspotenzial überschätzt werden.
  - Das IAB musste verschiedene Aggregationen vornehmen, die ohne Kenntnis der relevanten Häufigkeiten auf Basis von Annahmen erfolgen mussten. So wurde angenommen, dass alle Kerntätigkeiten eines Berufs die gleiche quantitative Bedeutung haben. Zudem wurde für die Aggregation der Ergebnisse von den knapp 4.000 Berufen aus BERUFENET auf knapp 1.300 Berufsgattungen (KldB 2010) angenommen, dass die jeweils einer Berufsgattung zugeordneten Berufe quantitativ die gleiche Bedeutung haben. Dabei ist offen, ob die Gleichverteilungsannahmen lediglich eine Unschärfe darstellen oder zu einer systematischen Verzerrung führen. Beispielsweise wäre es möglich, dass innerhalb eines Berufs die als automatisierbar erachteten Tätigkeiten einen systematisch unterproportionalen Anteil haben, etwa weil diese Tätigkeiten bereits teilweise automatisiert sind.
- Realistischerweise werden nicht stets ganze Berufe oder Arbeitsplätze automatisiert, sondern einzelne berufliche Tätigkeiten (vgl. auch Rentmeister et al. 2017, S. 10), wodurch ggf. ein Neuzuschnitt von Arbeitsplätzen erforderlich wird. Insoweit erscheint die Betrachtung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Beruf oder Arbeitsplatz (künftig) vollständig automatisierbar sein wird, wenig zweckmäßig. Dieses Konstrukt ermitteln alle Studien (mit Ausnahme der Studie des *McKinsey Global Institute*), die US-Ergebnisse auf Deutschland übertragen. In ähnlicher Weise erscheint es nicht zweckmäßig, die Betrachtung ausschließlich auf Berufe oder Arbeitsplätze mit einem hohen Substitutionspotenzial zu fokussieren. Statt dessen erscheint ein Fokus auf den Anteil der beruflichen Tätigkeiten zweckmäßig, die automatisierbar sind.
- Tätigkeiten unterscheiden sich nicht nur zwischen Berufen, sondern auch zwischen Beschäftigten im gleichen Beruf. Insoweit ist eine Analyse der Automatisierbarkeit auf Ebene der Arbeitsplätze einer Untersuchung auf Ebene von Berufen vorzuziehen. Eine Analyse von Arbeitsplätzen hat allerdings den Nachteil, dass sie realistischerweise nur mit Befragungsdaten möglich ist, wodurch aufgrund begrenzter

Fallzahlen eine stärkere Aggregation der Ergebnisse auf größere Berufsaggregate erforderlich ist.

- Nach Pfeiffer/Suphan (2015, S. 18) sollten die Anteile von Nicht-Routine *innerhalb* von Tätigkeiten ermittelt werden. Diesem Anspruch genügt keine der zitierten Studien. Die IAB-Studien betrachten zwar einzelne Tätigkeiten, nicht jedoch die mögliche Nicht-Routine *innerhalb* dieser Tätigkeiten. Der Arbeitsvermögen-Index von Pfeiffer und der BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial berücksichtigen Nicht-Routine lediglich bezogen auf den Arbeitsplatz, nicht jedoch innerhalb einzelner Tätigkeiten.
- Die meisten Studien ermitteln die Automatisierbarkeit für den jeweils aktuellen (oder einen künftig erwarteten) Stand der Technik. Mit diesen Angaben lassen sich meist Substitutionspotenziale als Anteile oder Automatisierungswahrscheinlichkeiten ermitteln (Ausnahme: Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex des BIBB). Allerdings sind die Ergebnisse damit vom Stand der Technik abhängig. Dem IAB zufolge hatte binnen weniger Jahre der technische Fortschritt spürbare Auswirkungen auf das Substituierbarkeitspotenzial. So waren 2013 erst 15 Prozent und 2016 bereits 25 Prozent aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Berufen mit einem Substituierbarkeitspotenzial von mehr als 70 Prozent tätig, wobei die Änderung wesentlich auf den technischen Fortschritt zurückgeführt wird (Dengler/Matthes 2018a). In ähnlicher Weise verweist das BIBB als Begründung für die kurzfristige Dynamik seines branchenspezifischen Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindexes auf die technologische Entwicklung (Lewalder et al. 2018, S. 10–16). Hingegen sind der Index zum Ersetzungspotenzial des BIBB und der Arbeitsvermögen-Index von Pfeiffer zwar nicht unabhängig von der tatsächlich bereits eingesetzten Technik, jedoch invariant gegenüber den aktuellen (oder künftig erwarteten) technischen Möglichkeiten und damit auch der gegenüber der Unsicherheit bei dessen Einschätzung. Beide Kennzahlen können jedoch nicht als Anteile oder Wahrscheinlichkeiten interpretiert werden.
- Soweit vergleichbar, kommen die Studien sowohl im Aggregat als auch differenziert nach Berufsaggregaten zu teilweise sehr unterschiedlichen Ergebnissen. So kommt beispielsweise die OECD-Studie trotz vergleichbarer Methodik mit zwei unterschiedlichen Datensätzen zu stark divergierenden Ergebnissen: So haben 18 Prozent bzw. 33 Prozent eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit. Sie mahnt daher zu einer großen Vorsicht bei der Interpretation der Ergebnisse auch von vergleichbaren Studien (Nedelkoska/Quintini 2018, S. 98). Der Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex des BIBB

hat innerhalb kurzer Frist in bestimmten Branchen eine erhebliche Dynamik (Lewalder et al. 2018, S. 10–16), die nicht plausibel erscheint. Auf Ebene von 107 Berufsgruppen ist der Zusammenhang zwischen dem vom IAB für 2013 ermittelten Substituierbarkeitspotenzial und dem vom BIBB für 2018 ermittelten Index zur Ersetzungspotenzial nicht sehr ausgeprägt (vgl. Abbildung 5). Punktuelle Vergleiche auf Berufsebene zwischen dem Arbeitsvermögen-Index und dem vom IAB für 2013 ermittelten Substituierbarkeitspotenzial offenbaren ebenfalls deutliche Abweichungen (Pfeiffer 2018a, S. 234).

- Es mangelt weitgehend an einer Validierung der Ergebnisse. Lediglich der Arbeitsvermögen-Index von Pfeiffer wurde zumindest punktuell mit qualitativen Erhebungen validiert.
- Pfeiffer (2018a, S. 217) mahnt eine theoretische und empirische Absicherung der Einschätzung von Tätigkeiten als automatisierbar an, da diese entscheidend für die Ergebnisse ist.

Tabelle 4: Studien zur Automatisierungswahrscheinlichkeit und zum Substitutionspotenzial

Institution	Grundgesamtheit	Arbeitsanforderungen	Methodische Hinweise	Differenzierung der Ergebnisse	Quelle(n)
Studien auf Basis der Automatisierbarkeit von US-Berufen (Abschnitt 2.1)					
University of Oxford	138,44 Millionen der 143,07 Millionen (96,8 %) Beschäftigten in den USA 2010	Tätigkeitsbeschreibungen, insb. 9 Engpass-Tätigkeiten für 903 US-Berufe aus O*NET 2010	Identifikation von 70 SOC-Berufen, die vollständig (nicht) automatisierbar sind durch Expert/inn/en; damit anhand von neun Anforderungstypen ökonometrische Schätzung der Automatisierungswahrscheinlichkeit	702 SOC-Berufe	Frey/Osborne (2013; 2017)
ING DiBa	30,87 Millionen der 37,99 Millionen (81,3 %) sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigte 2014		berufsbasierte Übertragung der Studie von Frey/ Osborne (2013) auf Deutschland; Umschlüsselung von SOC auf ISCO-08, von dort auf KldB 2010	9 Funktionsklassen, 22 ausgewählte Berufe bzw. Berufsgruppen	Brzeski/Burk (2015)
ZEW	Beschäftigte von 16 bis 65 Jahren in Privathaushalten in den USA und Deutschland			-	Bonin/Gregory/ Zierhan (2015, S. 8–11)

Institution	Grundgesamtheit	Arbeitsanforderungen	Methodische Hinweise	Differenzierung der Ergebnisse	Quelle(n)
ZEW	Beschäftigte von 16 bis 65 Jahren in Privathaushalten in 21 OECD-Ländern	Tätigkeitsbeschreibungen, insb. 9 Engpass-Tätigkeiten für 903 US-Berufe aus O*NET 2010; Tätigkeiten aus PIAAC auf Individualebene	tätigkeitsbasierte Übertragung (Umschlüsselung von SOC auf ISCO-08) der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland (weitere Umschlüsselung auf KldB 2010) bzw. 21 OECD-Länder	7 Bildungsniveaus; 6 Einkommensgruppen	Bonin/Gregory/ Zierhan (2015, S. 11–17), Arntz/Gregory/ Zierahn (2016)
Pricewaterhouse-Coopers	Beschäftigte von 16 bis 65 Jahren in Privathaushalten in 29 OECD-Ländern		modifizierte Replikation und Erweiterung der ZEW-Studien (2015, 2016) zur tätigkeitsbasierten Übertragung auf 29 Länder	5 Branchen; Geschlecht; 3 Altersgruppen; 3 Ausbildungsniveaus	Berriman/ Hawksworth (2017); Hawksworth/ Berriman/Goel (2018)
OECD	Beschäftigte von 16 bis 65 Jahren in Privathaushalten in 32 OECD-Ländern	70 vollständig (nicht) automatisierbare US-Berufe aus O*NET 2010; Tätigkeiten aus PIAAC auf Individualebene	modifizierte Replikation und Erweiterung der ZEW-Studien (2015, 2016) zur tätigkeitsbasierten Übertragung auf 32 OECD-Länder	Löhne; Alter; für 32 Länder insgesamt differenziert nach 38 der 43 *sub-major groups* (ISCO-08), 40 der 88 Wirtschaftsabteilungen	Nedelkoska/Quintini (2018, S. 40–61)

Institution	Grundgesamtheit	Arbeitsanforderungen	Methodische Hinweise	Differenzierung der Ergebnisse	Quelle(n)
OECD	Beschäftigte Deutsche im Alter von 21 bis 65 Jahren mit einer Arbeitszeit von mind. 10 Std. wtl.	70 vollständig (nicht) automatisierbare US-Berufe aus O*NET 2010; Arbeitsanforderungen aus den BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen 2005/2006 und 2011/2012 auf Individualebene	modifizierte Replikation der ZEW-Studien (2015, 2016) zur tätigkeitsbasierten Übertragung auf Deutschland	26 Berufe bzw. Berufsgruppen; 4 Anforderungsniveaus; Computernutzung; Ausbildungsdauer; Alter	Nedelkoska/Quintini (2018, S. 95–101)
Universitäten Leuven und Utrecht, LSE; ZEW	Arbeitskräfte aus Privathaushalten in 16 bzw. 27 europäischen Staaten (einschließlich Deutschland)	5 Tätigkeitsanforderungen für US-Berufe aus DOT 1977	Übertragung eines aus 5 Merkmalen für die USA konstruierten Indexes für die Intensität von Routinetätigkeiten auf 16 europäische Staaten	für 16 Länder insgesamt differenziert nach 21 der 28 der *sub-major groups* und 8 der 10 *major groups* (ISCO-88)	Goos/Manning/ Salomons (2014); Gregory/Salomons/ Zierahn (2018)
McKinsey Global Institute	Beschäftigte in Deutschland (vermutlich 2014)	18 Fähigkeiten differenziert nach Niveau, Zuordnung zu über 8.000 Tätigkeiten von etwa 800 US-Berufen aus O*NET 2014	offenbar berufsbasierte Übertragung derzeitiger Automatisierungsmöglichkeiten von Tätigkeiten von US-Berufen auf Deutschland	für 19 Branchen unter https://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/InternationalAutomation/WhereMachinesCanReplaceHumans	Manyika et al. (2017a)

Institution	Grundgesamtheit	Arbeitsanforderungen	Methodische Hinweise	Differenzierung der Ergebnisse	Quelle(n)
Originär nationale Studien (Abschnitt 2.2)					
IAB	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (ohne Angehörige der regulären Streitkräfte) 2012	6.709 Kernanforderungen für 3.935 Kernberufe aus BERUFENET (November 2013)	Einschätzung zur Automatisierbarkeit von Arbeitsanforderungen durch 3 Codierer/innen	14 Berufssegmente, 36 der 37 Berufshauptgruppen, erstere auch, letztere nur kombiniert mit 4 Anforderungsniveaus (KldB 2010); 54 BIBB-Berufsfelder[a]; ergänzend vom IAB zur Verfügung gestellt: 36 der 37 Berufshauptgruppen; 140 der 144 Berufsgruppen auch kombiniert mit 4 Anforderungsniveaus (KldB 2010)	Dengler/Matthes/ Paulus (2014); Dengler/Matthes (2015a; 2015b; 2018b); Buch/Dengler/ Matthes (2016)
Boston Consulting Group	sozialversicherungspflichtig Beschäftigte		Gewichtung der IAB-Ergebnisse (2015) mit der Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten	–	Rentmeister et al. (2017)
IAB	sozialversicherungspflichtig Beschäftigte 2016	ca. 8.000 Kernanforderungen für ca. 4.000 Kernberufe aus BERUFENET (2016)	Einschätzung zur Automatisierbarkeit von Arbeitsanforderungen durch 3 Codierer	4 Anforderungsniveaus; 19 Branchen kombiniert mit 14 Berufssegmenten[b] (KldB 2010) bzw. mit 16 Bundesländern; Kreise; für einzelne Berufe unter https://job-futuromat.iab.de	Dengler/Matthes (2018a); Dengler/Matthes/Wydra-Somaggio (2018); Dengler (2019a)

Institution	Grundgesamtheit	Arbeitsanforderungen	Methodische Hinweise	Differenzierung der Ergebnisse	Quelle(n)
Universitäten Hohenheim und Nürnberg	deutschsprachige Erwerbstätige ab 15 Jahren mit einer Arbeitszeit von mind. 10 Std. wtl. 2011/12	Arbeitsanforderungen aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2011/12 auf Individualebene	Konstruktion eines Arbeitsvermögen-Index anhand subjektiver Einschätzung der Häufigkeit komplexer Anforderungen	Geschlecht; 12 Altersgruppen; ausgewählte Berufsgruppen; 4 Qualifikationsniveaus; 44 der 88 Wirtschaftsabteilungen und 16 Bundesländer jeweils kombiniert mit 3 Qualifikationsniveaus	Pfeiffer/Suphan (2015; 2019); Pfeiffer (2016a; 2016b; 2018a; 2018b)
BIBB	deutschsprachige Erwerbstätige ab 15 Jahren mit einer Arbeitszeit von mind. 10 Std. wtl. 2011/12 und 2017/18	Arbeitsanforderungen aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung auf Individualebene	Faktorenanalyse zur Berechnung eines Indexes zum Ersetzungspotenzial	bis 2011/12: 12 BIBB-Berufshauptfelder; 54 BIBB-Berufsfelder; 4 Qualifikationsniveaus; 2017/18: 20 von 144 Berufsgruppen (KldB 2010); ergänzend vom BIBB zur Verfügung gestellt: 108 Berufsgruppen (für übrige Fallzahlen nicht ausreichend)	Helmrich et al. (2016, S. 21–31); Lewalder et al. (2018, S. 3–10)

Institution	Grundgesamtheit	Arbeitsanforderungen	Methodische Hinweise	Differenzierung der Ergebnisse	Quelle(n)
BIBB	deutsche Erwerbstätige von 15 bis 65 Jahren in Westdeutschland (einschließlich West-Berlin) 1979, 1986, 1992, 1999, 2006, 2012, 2018	Arbeitsanforderungen aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung auf Individualebene	Faktorenanalyse zur Berechnung eines Indexes zum Ersetzungspotenzial	4 Qualifikationsniveaus; bis 2012: 12 BIBB-Berufshauptfelder, 54 BIBB-Berufsfelder	Helmrich et al. (2016, S. 31–45) (1979 bis 2012); Tiemann (2019) (2018)
Bundesinstitut für Berufsbildung	Betriebe mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten 2015 bis 2018	Arbeitsanforderungen aus dem BIBB-Qualifizierungspanel 2015 bzw. 2012, 2015 und 2016 auf Betriebsebene	Hauptkomponentenanalyse zur Berechnung des Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindexes (QPE)	45 Wirtschaftszweige	Helmrich et al. (2016, S. 65–68); Lewalder et al. (2018, S. 10–16)

[a] Zudem sind in der Reihe IAB regional mehrere Publikationen mit Ergebnissen für die Bundesländer erschienen.
[b] Differenziertere Ergebnisse für verschiedene Berufsaggregate sollen noch im Jahr 2019 veröffentlicht werden.

Quelle: Rohrbach-Schmidt/Hall 2013, S. 16; Gensicke/Tschersich 2018, S. 6 und eigene Darstellung auf Basis der angegebenen Quellen.

3. Bisherige Folgen der Digitalisierung

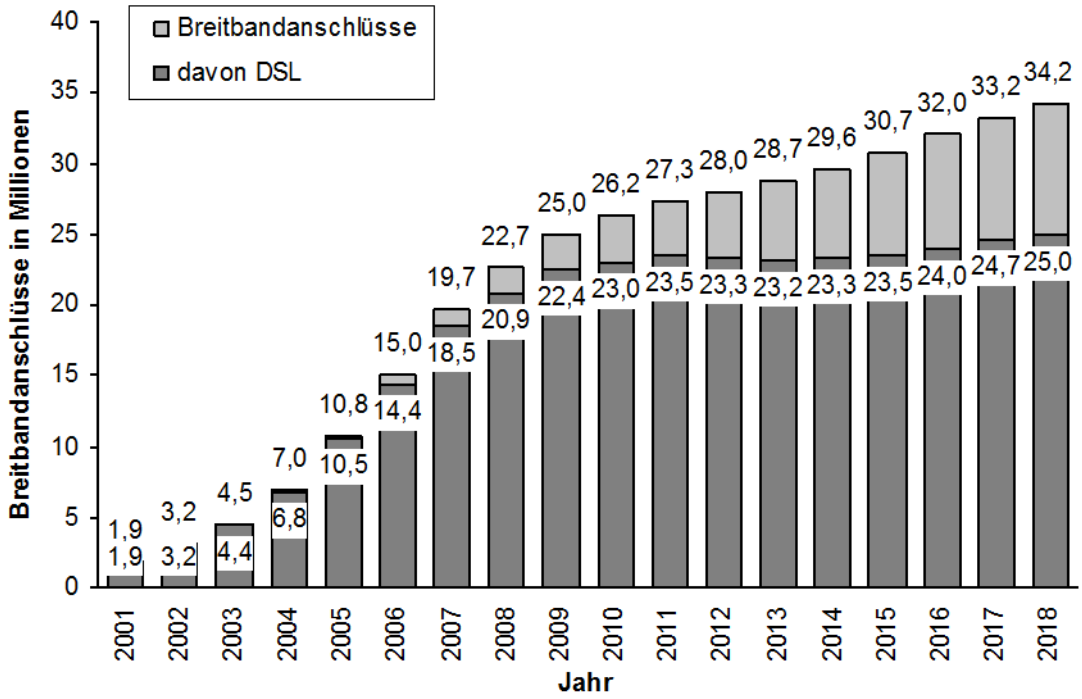
In diesem Kapitel werden Studien vorgestellt, die die Auswirkungen der bereits erfolgten Digitalisierung auf Zahl und berufliche Struktur der Erwerbstätigen sowie Innovationen und Produktivität in Deutschland empirisch untersuchen. Dabei widmen sich mehrere Studien bestimmten Auswirkungen von Teilaspekten der Digitalisierung: Verfügbarkeit von Breitband-Internet und mobilem Internet (Abschnitt 3.1), Einsatz von Industrierobotern (Abschnitt 3.2) und Vernetzung und maschinelles Lernen (Abschnitt 3.3). Studien zu den Auswirkungen des technologischen Wandels insgesamt werden in Abschnitt 3.4 vorgestellt. Dort wird einleitend auch auf den Stand der Digitalisierung der deutschen Wirtschaft eingegangen.

3.1 Internet

In Deutschland ging mit dem Ausbau der Breitband-Infrastruktur eine erhebliche Zunahme der Breitbandanschlüsse einher: Ihre Zahl stieg von 1,9 Millionen im Jahr 2001 auf 26,2 Millionen im Jahr 2010 und dann weiter auf 34,2 Millionen bis 2018 (vgl. Abbildung 6).[22] Dabei handelte es sich zunächst ganz überwiegend um DSL-Anschlüsse, im Zeitverlauf nahm der Anteil anderer Zugangstechniken sukzessive zunächst auf 12 Prozent (2010) und zuletzt auf 27 Prozent (2018) zu.

22 Die erforderliche Mindestgeschwindigkeit für einen Breitbandanschluss ist nicht angegeben.

Abbildung 6: Breitbandanschlüsse in Festnetzen im Zeitverlauf



Anmerkung. Erforderliche Mindestgeschwindigkeit für einen Breitbandanschluss unklar.
Quelle: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen 2012, S. 74 und 2019, S. 48.

Das Internet als Basistechnologie kann Prozess- und Produktinnovationen ermöglichen, Prozessinnovationen können Arbeitsproduktivität und Umfang der Beschäftigung beeinflussen (vgl. Kapitel 1). In diesem Abschnitt wird auf Studien eingegangen, die die Auswirkungen der Verfügbarkeit von Breitband-Internet und mobilem Internet auf diese ökonomischen Größen in Deutschland untersuchen.[23] Dabei nutzen die Studien regionale Diskrepanzen bzw. Unterschiede zwischen Firmen bei der Verfügbarkeit in der Einführungsphase, um ökonomische Auswirkungen aufzuzeigen.

Im Rahmen einer Dissertation an der Universität München wurden die Auswirkungen der Verfügbarkeit von Breitband-Internet auf die Produktionselastizität unterschiedlicher Arten von Arbeit auf Betriebsebene in den Jahren 2000 und 2006 bis 2010 ökonometrisch untersucht (Bastgen

23 Für empirische Studien auch zu den Auswirkungen auf das Wirtschaftswachstum sowie in anderen Ländern vgl. insbesondere Bertschek et al. (2015) und zudem auch Falck (2017).

2016, S. 61–94, 129–144).[24] Die Studie stützt sich insbesondere auf Daten zur Verfügbarkeit von Breitband-Internet mit einer Geschwindigkeit von mindestens 384 kb/s in den Jahren 2006 bis 2010 auf Kreisebene (für 2000 wird generell von fehlendem Breitband-Internet ausgegangen) und die *Linked-Employer-Employee*-Daten des IAB (LIAB) für 2000 und 2006 bis 2010 für etwa 10.000 Betriebe. Der letztgenannte Datensatz besteht aus Befragungsdaten aus dem IAB-Betriebspanel, einer jährlichen Wiederholungsbefragung von Betrieben mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, mit den zugehörigen administrativen Betriebsinformationen aus dem Betriebs-Historik-Panel (BHP) und den Erwerbsbiographien der dort beschäftigten Personen. Zudem unterscheidet die Studie jeweils drei Kategorien von Arbeitskräften nach Qualifikation und Routineintensität des Berufs:

- Qualifikation: Die Qualifikation wird ausschließlich anhand der (Hoch-)Schulbildung gemessen: Volks-/Haupt-/Mittelschule, Abitur sowie (Fach-)Hochschulabschluss;
- Routineintensität: Grundlage für die Klassifizierung ist ein beruflich differenzierter Index für die Intensität von Routinetätigkeiten, der sich an der Konstruktion von Autor/Dorn (2013, S. 1570) für die USA (vgl. Abschnitt 2.1) orientiert. Die Studie nutzt zur Ermittlung der Routineintensität auf Ebene einer 3-stelligen Berufsklassifikation vier Fragen aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2006, einer repräsentativen Befragung von etwa 20.000 deutschsprachigen Erwerbstätigen mit einer Arbeitszeit von mindestens zehn Stunden wöchentlich (Rohrbach-Schmidt 2009). Die Ergebnisse wurden dann berufsspezifisch auf die LIAB-Daten übertragen. Anhand des ermittelten Indexes werden die Beschäftigten in drei gleich große Gruppen unterteilt, in solche mit hoher, mittlerer und geringer Routineintensität.

Den Studienergebnissen zufolge erweist sich die Klassifizierung nach der Routineintensität als ökonomisch sensibler als die Klassifizierung anhand der Qualifikation.[25] Eine Erhöhung der Verfügbarkeit von Breitband-Internet um 10 Prozentpunkte führt danach zu einer Reduktion der Produktionselastizität hoch routinierter Tätigkeiten um 1,2 Prozentpunkte; dies signalisiert eine leichtere Ersetzbarkeit hoch routinierter Tätigkeiten im Produktionsprozess infolge der Verfügbarkeit von Breitband-Internet. Auf Tätigkeiten mit mittlerer Routineintensität hat das Internet den Ergebnissen zufolge keine relevante Auswirkung, bei Tätigkeiten mit

24 Darüber hinaus untersucht die Studie die Auswirkung auf Löhne, auf die hier nicht eingegangen wird.

25 Dieses Resultat dürfte maßgeblich durch die mangelnde Eignung der (Hoch-) Schulbildung als Maß für die (berufliche) Qualifikation bedingt sein.

geringer Routineintensität wird die Produktionselastizität um 0,5 bis 0,75 Prozentpunkte erhöht; letzteres weist auf eine schwierigere Ersetzbarkeit infolge des Internets hin.

Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) hat ökonometrisch untersucht, welche Auswirkungen die DSL-Verfügbarkeit in den Jahren 2005 bis 2010 auf die Veränderung der Zahl der Beschäftigten auf Betriebsebene hatte (Stockinger 2019). Die Untersuchung erstreckt sich auf 2005 bereits vorhandene Betriebe in ländlichen Regionen Westdeutschlands und in ostdeutschen Städten. Neben Daten zur Verfügbarkeit von DSL mit einer Geschwindigkeit von mindestens 384 kb/s – maximal anstelle von ISDN mit einer Geschwindigkeit von höchstens 128 kb/s – auf kommunaler Ebene verwendet die Studie eine 10 Prozent-Stichprobe des Betriebs-Historik-Panels (BHP), administrativen Daten zu Betrieben mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. Die Schätzungen erfolgen getrennt für West- und Ostdeutschland sowie getrennt für Produktions- und Dienstleistungsbetriebe. Den Studienergebnissen zufolge hat von 2005 bis 2010 in ländlichen Regionen Westdeutschlands eine Zunahme der DSL-Verfügbarkeit um zehn Prozentpunkte zu einem durchschnittlichen Anstieg der Beschäftigung in bestehenden Dienstleistungsbetrieben um zwei bis drei Prozent geführt. In Produktionsbetrieben führte eine verbesserte DSL-Verfügbarkeit hingegen zu einer Abnahme der Beschäftigung in ähnlicher Größenordnung. Ergänzende Analysen für westdeutsche Dienstleistungs- und Produktionsbetriebe aus wissensintensiven Branchen deuten darauf hin, dass sich dort das Beschäftigungswachstum konzentriert. Für ostdeutsche Städte sind die Ergebnisse weniger eindeutig. Der Studie zufolge könnten die gegenläufigen Beschäftigungseffekte bei Dienstleistungs- und Produktionsbetrieben mit der Auslagerung von Aufgaben zusammenhängen.

Das ifo Institut hat ökonometrisch untersucht, wie sich die DSL-Verfügbarkeit in den Jahren 2005 bis 2009 auf die sozialversicherungspflichtige Beschäftigung auf Gemeindeebene in Westdeutschland ausgewirkt hat (Fabritz 2013).[26] Neben regionalspezifischen Daten des Breitbandatlasses zum Anteil der Haushalte, für die die Möglichkeit eines DSL-Anschlusses mit einer Geschwindigkeit von mindestens 384 kb/s besteht, stützt sich die Studie auf Daten des Statistischen Bundesamts zur sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung und zur Bevölkerung sowie (als Kontrollvariablen) zu den Hebesätzen zur Gewerbesteuer und andere gemeindespezifische Variablen. Die Beschäftigung wird gemessen als Relation der in einer Gemeinde tätigen sozialversi-

26 Berücksichtigt wurden jene 8.460 Gemeinden, die zwischen 2005 und 2009 nicht mit einer anderen fusioniert sind.

cherungspflichtig Beschäftigten (Arbeitsort) zu der ansässigen Bevölkerung im Alter von 20 bis 65 Jahren (Wohnort). Nach den Ergebnissen führte eine Erhöhung des Anteils der Haushalte mit DSL-Anschlussmöglichkeit um zehn Prozentpunkte zu einer Erhöhung der genannten Beschäftigungsrelation um 0,04 Prozentpunkte.[27] In ländlichen Regionen ist der Beschäftigungseffekt mit 0,09 bis 0,15 Prozentpunkten größer.

Das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und die Universität Düsseldorf haben ökonometrisch auf Unternehmensebene untersucht, wie sich von 2001 bis 2003 auf Unternehmensebene die Nutzung von Breitband-Internet (DSL oder Standleitung) auf Arbeitsproduktivität und Prozess- und Produktinnovationen ausgewirkt haben (Bertschek/Cerquera/Klein 2013). Die Studie basiert auf der repräsentativen jährlichen Wiederholungsbefragung von etwa 4.400 Unternehmen (verarbeitendes Gewerbe und unternehmensnahe Dienstleistungen) mit mindestens fünf Beschäftigten zu Informations- und Kommunikationstechnologien des ZEW (IKT-Befragung) der Jahre 2002 bis 2004 mit Angaben für 2001 bis 2003, auf Angaben der Deutschen Telekom zur Verfügbarkeit von DSL auf Ebene der Postleitzahlenbezirke und auf den regionalspezifischen Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung (INKAR) des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Die Studie kann auf Unternehmensebene keinen signifikanten Einfluss der Breitbandnutzung auf die Arbeitsproduktivität, gemessen als Verkaufserlöse je Beschäftigten, feststellen. Hingegen hat nach den Studienergebnissen die Breitbandnutzung sowohl zu Prozess- als auch zu Produktinnovationen geführt.[28] Der Studie zufolge könnten die skizzierten Resultate darauf zurückzuführen sein, dass die durch die Breitbandnutzung induzierten Innovationen erst langfristig und damit jenseits des Beobachtungszeitraums zu einer erhöhten Arbeitsproduktivität führen. Zudem werden relevante Unterschiede zwischen den Unternehmen beim Effekt auf die Arbeitsproduktivität vermutet.

In einer Studie des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) werden auf Unternehmensebene die Konsequenzen der Nutzung des mobilen Internets auf die Arbeitsproduktivität untersucht (Bertschek/Niebel 2015). Die Studie basiert auf den Angaben von 2.143 Unternehmen aus der repräsentativen Befragung von etwa 4.400 Unternehmen (verarbeitendes Gewerbe und unternehmensnahe Dienstleistungen) mit mindestens fünf Beschäftigten zu Informations- und Kommunikationstechnologien des ZEW (IKT-Befragung) im Jahr 2014. Nach

27 Dies sollte bei einer durchschnittlichen Beschäftigungsrelation von etwa 30 % einer Erhöhung der Beschäftigung um 0,13 Prozentpunkte entsprechen.

28 Das Ausmaß ist mit größeren Unsicherheiten behaftet und wird daher hier nicht angegeben.

den Studienergebnissen steigert eine Erhöhung des Anteils der Beschäftigten mit mobilem Internetzugang um einen Prozentpunkt die Arbeitsproduktivität, gemessen als Verkaufserlöse je Beschäftigten, um 0,2 Prozent.[29]

3.2 Industrieroboter

Industrieroboter sind in der zuletzt 2012 aktualisierten ISO-Norm 8373 definiert. Danach handelt es sich um automatisch gesteuerte, mit drei oder mehr frei programmierbaren Bewegungsachsen ausgerüstete Mehrzweckmanipulatoren, die entweder ortsfest oder mobil für industrielle Anwendungen bestimmt sind. Die *International Federation of Robotics* (IFR) erhebt weltweit bei den Herstellern von Industrierobotern, hilfsweise von ihren nationalen Verbänden, Angaben zum Absatz differenziert u. a. nach Land und Branche (Beckert et al. 2016, S. 23).[30] Die IFR-Daten umfassen etwa 90 Prozent aller weltweit verkauften Industrieroboter (Chiacchio/Petropoulos/Pichler 2018, S. 13; Dauth et al. 2018, S. 10). Die IFR-Daten orientieren sich zwar grundsätzlich an der eingangs genannten ISO-Definition, allerdings entsprechen die tatsächlich erhobenen Daten und ausgewiesenen Ergebnisse offenbar dieser nicht durchgängig (hinsichtlich Japan: Graetz/Michaels 2018, S. 758). Teilweise werden von den Verbänden auch Angaben zum Bestand an Industrierobotern bereitgestellt, ansonsten wird der Bestand aus den Absatzzahlen unter der Annahme einer zwölfjährigen Nutzungsdauer von der IFR ermittelt und ausgewiesen (Beckert et al. 2016, S. 23; vgl. auch Graetz/Michaels 2018, S. 758).

Abbildung 7 zeigt Auslieferungen und Bestand an Industrierobotern weltweit und differenziert nach Zielgebiet. Die weltweiten Auslieferungen haben mit (konjunkturellen) Schwankungen im Zeitverlauf tendenziell zugenommen, der weltweite Bestand ist weitgehend kontinuierlich gestiegen. Sowohl Auslieferungen als auch Bestand haben von 2014 bis 2017 jeweils deutlich zugenommen. Dabei entfiel von dem weltweiten Anstieg der Auslieferungen von 2013 bis 2017 um rund 200.000 Stück

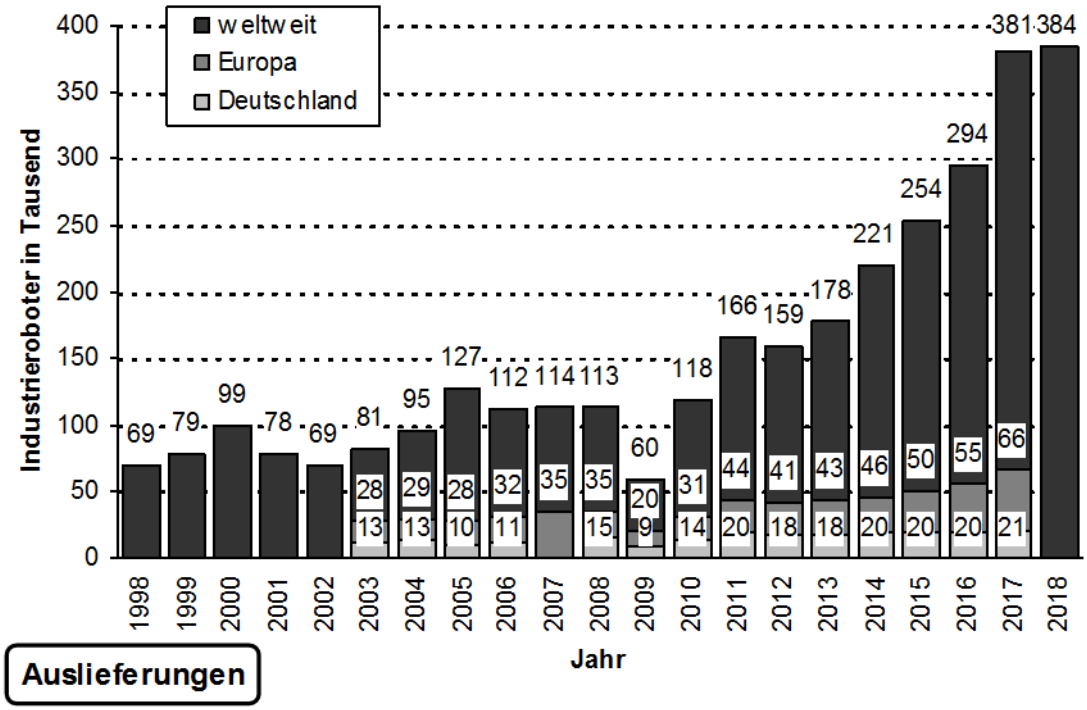
29 Tendenziell dürften jene Beschäftigten bevorzugt mit einem mobilen Internetzugang ausgestattet worden sein, bei denen vom Unternehmen dadurch die höchsten Produktivitätssteigerungen erwartet wurden. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass eine weitere Verbreitung des mobilen Internetzugangs nicht zu proportional analogen Produktivitätssteigerungen führt (ansonsten würde ein mobiler Internetzugang für alle Beschäftigten eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität bzw. der Verkaufserlöse um 20 % implizieren).

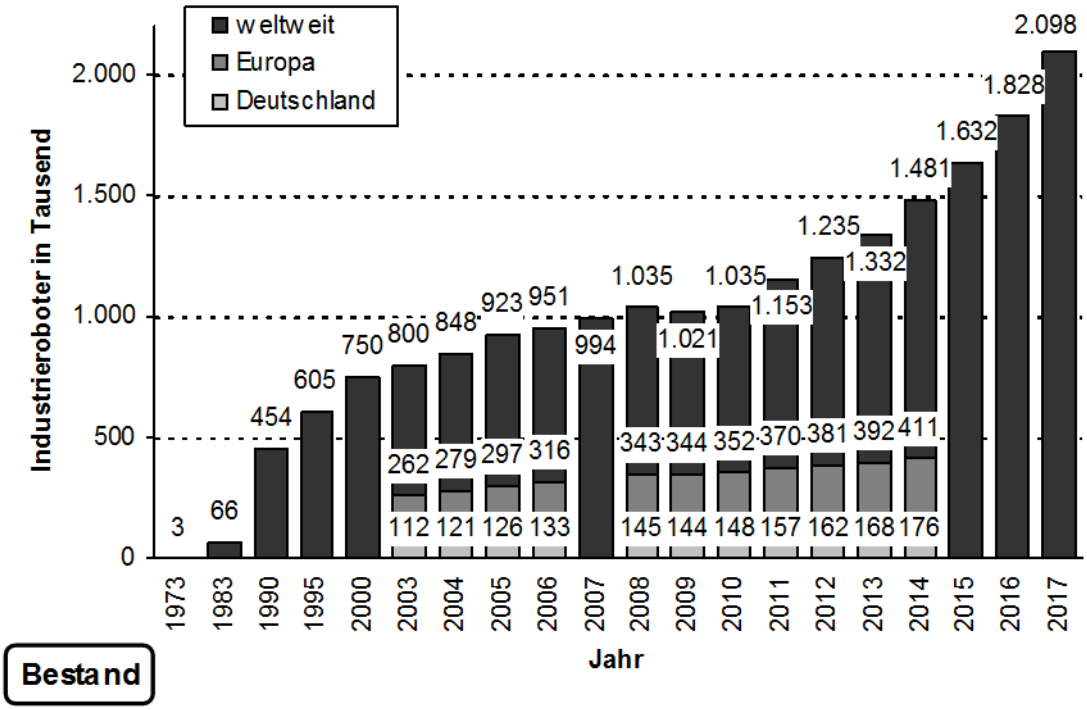
30 Die IFR-Daten zu Industrierobotern und die methodischen Angaben zu ihrer Genese sind nur zu einem geringen Teil frei verfügbar; daher wird hierfür überwiegend auf Sekundärquellen zurückgegriffen.

fast die Hälfte auf China. Die Auslieferungen nach Europa und Deutschland sind entsprechend dem vorherigen Trend nur moderat gestiegen; das gleiche dürfte für den Bestand gelten. Bei jährlichen Auslieferungen nach Deutschland von zuletzt (2017) 21.000 Stück hierzulande dürfte der Bestand rund 200.000 betragen haben. Besonders stark vertreten sind Industrieroboter in der Automobilindustrie, in Deutschland 116,2 Roboter je 1.000 Beschäftigte, im übrigen verarbeitenden Gewerbe sind es lediglich 19,1 Roboter je 1.000 Beschäftigte. 1993 wurden in Deutschland 1,71 Industrieroboter je 1 Million Arbeitsstunden eingesetzt, 2007 waren es 4,44 (Graetz/Michaels 2018, S. 19).

Die Listenpreise für Industrieroboter sind in Deutschland von 1990 bis 2005 nominal um mehr als die Hälfte gefallen; unter Berücksichtigung der Qualitätsentwicklung sind die Preise nominal sogar um etwa 80 Prozent zurückgegangen, wobei es Anfang der 1990er Jahre einen deutlichen Qualitätssprung gab (Graetz/Michaels 2018, S. 760, auf Basis von IFR-Angaben).

Abbildung 7: Auslieferungen und Bestand an Industrierobotern im Zeitverlauf





Anmerkung: Bestand jeweils Jahresende; bis 2002, Bestand 2007 und Bestand ab 2015: keine Angaben für Europa und Deutschland; Auslieferungen 2007: keine Angabe für Deutschland; Auslieferungen 2018: vorläufig; Bestände von der International Federation of Robotics geschätzt; teilweise nachträglich revidierte Angaben wurden nicht berücksichtigt, da nur für insgesamt verfügbar.
Quelle: International Federation of Robotics (insb. World Robotics Report, verschiedene Jahrgänge).

Verschiedene Studien nutzen die regional und sektoral unterschiedliche Dynamik beim Einsatz von Industrierobotern zur Abschätzung von Beschäftigungseffekten. Dabei basieren die meisten Studien auf den IFR-Daten, die keine regionale Untergliederung innerhalb Deutschlands beinhalten. Um dennoch ausreichende Varianz für die Folgenabschätzung zu erhalten, verwenden die Studien verschiedene Ansätze:

- Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) und Universitäten Würzburg, Mannheim und Düsseldorf: Die Studie nimmt an, dass die für Deutschland insgesamt bekannte branchenspezifische Relation von Industrierobotern je 1.000 Beschäftigte bundesweit einheitlich ist, also für jeden der 402 Kreise und kreisfreien Städte ebenfalls zutrifft (regionale Verteilungsannahme).
- Universität Uppsala und der *London School of Economics* (LSE): Die Studie basiert auf dem Vergleich von Daten auf Landesebene für 17 Länder. Falls die Ergebnisse nicht nur im Durchschnitt der 17 Länder, sondern für Deutschland interpretiert werden sollen, muss ange-

nommen werden, dass die Beschäftigungseffekte in Deutschland sich nicht relevant vom Durchschnitt der übrigen 16 Länder unterscheiden (internationale Homogenitätsannahme). Diese internationale Homogenitätsannahme gilt auch für die Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI), die auf firmenspezifischen Daten aus sieben westeuropäischen Ländern basiert.

- Forschungsinstitut Bruegel: Die Studie kombiniert die beiden vorstehenden Ansätze, indem sie eine Analyse auf der Ebene von 116 Regionen (davon 38 – teilweise ehemalige – Regierungsbezirke bzw. Bundesländer in Deutschland) in sechs europäischen Staaten durchführt. Um die Ergebnisse für Deutschland interpretieren zu können, muss die angenommene regionale Verteilung der Industrieroboter zutreffen und die Beschäftigungseffekte in Deutschland dürfen sich nicht relevant vom Durchschnitt der übrigen fünf Länder unterscheiden.

Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) untersucht auf betrieblicher Ebene die Auswirkungen des Einsatzes von Industrierobotern bzw. Handhabungssystemen in Betrieben des verarbeitenden Gewerbes mit mindestens 20 Beschäftigten in sieben europäischen Ländern auf Produktivität und Beschäftigung (Jäger/Moll/Lerch 2016). Wesentliche Datengrundlage ist der *European Manufacturing Survey* (EMS) 2012. Verwendet werden die Daten von 2.848 befragten Betrieben des verarbeitenden Gewerbes mit mindestens 20 Beschäftigten in Deutschland, Frankreich, den Niederlanden, Österreich, Schweden, der Schweiz und Spanien; 54 Prozent der befragten Betriebe sind in Deutschland ansässig. Untersucht wird die Auswirkung davon, ob Industrieroboter oder Handhabungssysteme[31] in Fertigung oder Montage im Betrieb überhaupt genutzt werden bzw. in welchem Ausmaß das Potenzial zu deren betrieblichen Einsatz genutzt wird (nicht oder gering vs. Mittel oder hoch). Nach den Ergebnissen erhöhen Industrieroboter bzw. Transportsysteme die Arbeitsproduktivität in Betrieben, in denen sie eingesetzt werden.[32] Eine Auswirkung auf die totale Faktorproduktivität oder auf die Zahl der Beschäftigten in diesen Betrieben konnte nicht nachgewiesen werden.[33]

31 Soweit aus dem auszugsweise abgedruckten Fragebogen erkennbar, enthält die Befragung keine genauere Definition von Industrierobotern oder Handhabungssystemen.

32 Aufgrund von fehlenden Angaben basiert die Analyse auf Angaben von 1.354 Betrieben (Anteil Deutschlands nicht angegeben).

33 Aufgrund von fehlenden Angaben basieren die Analysen auf Angaben von 1.505 bzw. 956 Betrieben (Anteil Deutschlands nicht angegeben).

Eine Studie der Universität Uppsala und der *London School of Economics* (LSE) untersucht den Einfluss des Einsatzes von Industrierobotern in 17 Ländern von 1993 bis 2007 auf Arbeits- und totale Faktorproduktivität, Absatzpreise, Lohnquote und Beschäftigungsstruktur (Graetz/ Michaels 2018).[34] Die Studie stützt sich auf die jährlichen IFR-Daten zu ausgelieferten Industrierobotern auf Branchenebene in 17 Ländern. Berücksichtigt werden 14 europäische Staaten, darunter Deutschland, die USA, Südkorea und Australien.[35] Zudem werden jährliche landes- und branchenspezifische Daten zum Einsatz von Arbeit und Kapital, der Produktion und Produktpreisen aus dem Forschungsprojekt *EU level analysis of capital (K), labour (L), energy (E), materials (M) and service (S) inputs* (EUKLEMS) verwendet. Von den 28 Branchen, nach denen in EUKLEMS differenziert wird, können zu 14 Branchen IFR-Daten zu Industrierobotern zugeordnet werden.[36] Darin sind alle Branchen des verarbeitenden Gewerbes mit Ausnahme des Maschinenbaus enthalten. Unter der Annahme einer zwölfjährigen Nutzungsdauer bis 1993 und anschließend einer jährlichen Abgangsrate von 10 Prozent wird der landes- und branchenspezifische Bestand an Industrierobotern geschätzt. Nach den Schätzergebnissen hat der verstärkte Einsatz von Industrierobotern im Durchschnitt der 17 berücksichtigten Länder zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität um 0,36 Prozentpunkte jährlich beigetragen, so dass sie 2007 ohne den Einsatz zusätzlicher Roboter um 5,1 Prozent geringer gewesen wäre.[37] Die aus den Schätzergebnissen ermittelte Zunahme der totalen Faktorproduktivität infolge des verstärkten Einsatzes von Industrierobotern betrug ungefähr zwei Drittel der roboterinduzierten Erhöhung der Arbeitsproduktivität, die Absatzpreise sind infolge des Robotereinsatzes ebenfalls um etwa dieses Ausmaß gefallen. Ein Einfluss des verstärkten Einsatzes von Industrierobotern auf die Lohnquote konnte hingegen nicht nachgewiesen werden. Zudem hat sich nach den Schätzergebnissen der Anteil des Arbeitsvolumens von gering Qualifizierten am gesamten Arbeitsvolumen infolge des verstärkten Robotereinsatzes vermindert.

---

34 Darüber hinaus untersucht die Studie die Auswirkung auf Löhne, auf die hier nicht eingegangen wird.

35 Nicht berücksichtigt wurden insbesondere China (aufgrund fehlender anderer Daten) und Japan (aufgrund von Änderungen bei der Definition der berücksichtigten Industrieroboter).

36 Nicht zugeordnet wurden und damit unberücksichtigt bleiben Industrieroboter in den IFR-Branchen „übriges verarbeitendes Gewerbe“, „übriges nicht verarbeitendes Gewerbe“ und „unspezifiziert“, auf die zusammen etwa 16 % der Auslieferungen entfallen.

37 In Deutschland müsste der Anstieg deutlich höher gewesen sein, da von den 17 Ländern hier die Zunahme der Industrieroboter mit deutlichem Abstand am größten war (etwa 2,73 Industrieroboter je Million Arbeitsstunden im Vergleich zu 0,90 Industrieroboter im Durchschnitt aller 17 Länder).

Eine Studie des belgischen Forschungsinstituts Bruegel untersucht ökonometrisch den Einfluss von Industrierobotern auf Zahl und Struktur der Erwerbstätigen auf regionaler Ebene in sechs europäischen Staaten in den Jahren 1995 bis 2007 (Chiacchio/Petropoulos/Pichler 2018).[38] Die Studie verwendet die jährlichen IFR-Daten zum Bestand an Industrierobotern differenziert nach Ländern und 18 Branchen (davon 15 Branchen des verarbeitenden Gewerbes). Daten zu Personen ab 15 Jahren, die in einer Referenzwoche mindestens eine Stunde erwerbstätig waren (einschließlich Selbstständige und mithelfende Familienangehörige) stammen aus der Europäischen Arbeitskräfteerhebung (AKE). Berücksichtigt werden Deutschland, Italien, Schweden, Finnland, Spanien und Frankreich, auf die ungefähr 85 Prozent der Industrieroboter in den 28 Staaten der Europäischen Union entfallen. Die Analyse erfolgt regional differenziert entsprechend der Klassifikation der Gebietseinheiten für die Statistik auf Ebene der sog. 116 NUTS2-Regionen in diesen Ländern, davon 38 (ehemalige) Regierungsbezirke bzw. Bundesländer in Deutschland. Um für die NUTS2-Regionen die maßgebliche Relation von Industrierobotern je 1.000 Erwerbstätige zu ermitteln, wurde angenommen, dass die bekannte branchenspezifische Relation landesweit einheitlich ist, also landesweit für jede NUTS2-Region ebenfalls zutrifft. Ungefähr 30 Prozent der Industrieroboter konnten nicht einer der 18 Branchen zugeordnet werden; für sie wurde eine proportionale Verteilung auf die 18 Branchen unterstellt. Für Deutschland konnten Angaben zu Erwerbstätigen aus der AKE für 1995 und 2007 nur nach Bundesländern differenziert verwendet werden, für die Verteilung auf die Regierungsbezirke wurde auf Regionalstatistiken von Eurostat für 1999 bzw. 2007 zurückgegriffen. Nach den Ergebnissen der Studie führt ein zusätzlicher Industrieroboter je 1.000 Erwerbstätige zu einem Rückgang der Zahl der Erwerbstätigen um etwa 0,16 Prozent bis 0,20 Prozent der Bevölkerung. Davon betroffen sind insbesondere Jüngere im Alter von 15 bis 24 Jahren, Personen mit mittlerer Qualifikation und Männer eher als Frauen.

Eine Studie des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) und der Universitäten Würzburg, Mannheim und Düsseldorf untersucht ökonometrisch die Auswirkungen von Industrierobotern auf Beschäftigung, Arbeitsproduktivität, Lohnquote und Bevölkerung auf Ebene der 402 Kreise im Zeitraum von 1994 bis 2014 sowie auf die Beschäftigungsstabilität und berufliche Mobilität von Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe auf Individualebene im Zeitraum von 2004 bis 2014

38 Darüber hinaus untersucht die Studie die Auswirkung auf Löhne, auf die hier nicht eingegangen wird.

(Dauth et al. 2018[39]).[40] Die Studie stützt sich auf die jährlichen IFR-Daten zur Verbreitung von Industrierobotern differenziert nach 25 Branchen der *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities* (ISIC), Rev. 4, (vgl. Tabelle 10 in Anhang A)[41] in Deutschland (ohne regionale Untergliederung). Angaben zur Zahl der Beschäftigten[42] auf Kreisebene stammen aus dem Betriebs-Historik-Panel (BHP), administrativen Daten zu Betrieben mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, und den Integrierten Erwerbsbiographien (IEB) des IAB. Branchenangaben für die Beschäftigten lagen nach der früheren deutschen Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ), Ausgabe 1993, vor. Um auf Kreisebene die maßgebliche Relation von Industrierobotern je 1.000 Beschäftigte zu ermitteln, wurde angenommen, dass die für Deutschland insgesamt bekannte branchenspezifische Relation bundesweit einheitlich ist, also für jeden der 402 Kreise und kreisfreien Städte ebenfalls zutrifft. Für die Berechnung wurden die Roboter in den 25 ISIC-Branchen durch eine mehrstufige Umschlüsselung zunächst auf 72 Branchen (53 Branchen des verarbeitenden Gewerbes und 19 weitere Branchen) gemäß WZ 1993 „verteilt“, wobei im Fall von Mehrfachzuordnungen die Verteilung proportional zur Zahl der Beschäftigten im Jahr 1978 erfolgte.[43]

Die Studie kann auf Ebene der 402 Kreise infolge eines veränderten Einsatzes von Industrierobotern im Zeitraum von 1994 bis 2014 keine Änderung der Beschäftigung insgesamt nachweisen. Allerdings gab es Beschäftigungsverluste im verarbeitenden Gewerbe, auf das sich der Robotereinsatz konzentriert, von etwa 0,06 Prozent der regionalen Bevölkerung für jeden zusätzlichen Roboter je 1.000 Beschäftigte in der Region und Beschäftigungsgewinne in den übrigen Wirtschaftssektoren von 0,04 Prozent der regionalen Bevölkerung. Dabei konzentrieren sich die Beschäftigungsgewinne auf unternehmensbezogene Dienstleistungen. Umgerechnet bedeutet dies, dass jeder zusätzliche Industrieroboter je 1.000 Beschäftigte 2,11 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe ersetzt und gleichzeitig fast zwei neue Arbeitsplätze im Dienstleistungs-

39 Es handelt sich um eine überarbeitete Fassung von Dauth et al. (2017a; 2017b), auf die daher hier nicht eingegangen wird.

40 Darüber hinaus untersucht die Studie die Auswirkung auf Löhne, auf die hier nicht eingegangen wird.

41 Dabei sind die Untergliederungen teilweise auf Ebene der Abschnitte, Abteilungen bzw. Gruppen.

42 Vermutlich Vollzeitäquivalente von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten.

43 Nicht zugeordnet wurden und damit unberücksichtigt bleiben Industrieroboter in den IFR-Branchen „übriges verarbeitendes Gewerbe“, „übriges nicht verarbeitendes Gewerbe“ und „unspezifiziert“, auf die zusammen etwa 5 % des Roboterbestandes in Deutschland entfallen. Außerdem musste die Wirtschaftsabteilung 12 „Bergbau auf Uran- und Thoriumerze“ nach der WZ 1993 ausgeschlossen werden, da es dort 1978 keine Beschäftigten gab.

sektor geschaffen hat. Nach den Ergebnissen weiterer ökonometrischer Schätzungen für den Zeitraum von 2004 bis 2014 hat der Einsatz von Industrierobotern die durchschnittliche Arbeitsproduktivität auf Kreisebene erhöht und die Lohnquote auf Kreisebene gesenkt; einen Einfluss auf die Größe der regionalen Bevölkerung (insb. aufgrund von Wanderungsbewegungen) konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Studie untersucht zudem ökonometrisch auf Individualebene die Folgen des Einsatzes von Industrierobotern für die weitere berufliche Entwicklung von knapp einer Million sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe im Jahr 1994 im Alter von 22 bis 44 Jahren mit mindestens zwei Jahren Berufserfahrung bis 2014. Nach den Studienergebnissen führt eine bundesweite Erhöhung des Einsatzes von Industrierobotern in einer Branche des verarbeitenden Gewerbes – trotz des zuvor festgestellten, daraus resultierenden Arbeitsplatzabbaus – dort zu einer verbesserten innerbetrieblichen Beschäftigungsstabilität. Die erhöhte Beschäftigungsstabilität ist allerdings verbunden mit einer erhöhten beruflichen Mobilität bezogen auf die deutsche Klassifikation der Berufe, Ausgabe 1988. Als Kehrseite der erhöhten Beschäftigungsstabilität infolge des Einsatzes von Industrierobotern stellt die Studie zudem einen reduzierten Zugang für Berufseinsteiger/innen in Betrieben des verarbeitenden Gewerbes fest.

3.3 Vernetzung und maschinelles Lernen

Eine Studie des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) befasst sich mit den Folgen von Vernetzung und maschinellem Lernen auf Rekrutierung und Entlassungen auf betrieblicher Ebene in Deutschland (Warning/Weber 2017; 2018). Datengrundlage ist die IAB-Stellenerhebung vom vierten Quartal 2015. Im Rahmen dieser Erhebung wurden rund 12.000 Betriebe und Verwaltungsstellen mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten befragt. Die Erhebung im Jahr 2015 erhielt zwei Zusatzfragen zur Entwicklung der Digitalisierung in drei Bereichen (interne Vernetzung, Vernetzung mit Lieferanten oder Kunden, Einsatz lernender Systeme) in den letzten fünf Jahren und zu den diesbezüglichen Erwartungen in den nächsten fünf Jahren. Aus der bisherigen Entwicklung und den Perspektiven wurden für die drei Bereiche jeweils fünf Kategorien gebildet (keine Digitalisierung, beginnende Digitalisierung, schwach zunehmende Digitalisierung, deutlich zunehmende Digitalisierung, Digitalisierung nicht weiter relevant). Insgesamt konnte kein relevanter Einfluss der Zuordnung zu einer der fünf Kategorien hinsichtlich der beiden Vernetzungsvarianten und dem Einsatz lernender

Systeme in den betroffenen Betrieben auf die Zahl der Beschäftigten, hinsichtlich der Vernetzung auch auf Rekrutierung und Entlassungen festgestellt werden. Der Einsatz lernender Systeme hingegen führt im Vergleich zu fehlender Digitalisierung zu signifikant höheren Entlassungen und Rekrutierungsbemühungen ungefähr im gleichen Ausmaß (drei bis vier Entlassungen und Einstellungen je 100 Beschäftigte). Lernende Systeme verändern danach also offenbar auf betrieblicher Ebene die Qualifikationsanforderungen: Rückläufig ist tendenziell der Bedarf an ungelernten Arbeitskräften. Beschäftigungseffekte in anderen Betrieben wurden nicht untersucht (z. B. bei Konkurrenten ohne fortschreitende Digitalisierung oder bei Herstellern der eingesetzten Technik).

3.4 Technologische Entwicklung insgesamt

Exemplarisch gibt die Befragung „Arbeitswelt 4.0“ einen Überblick über Stand und Zukunftsperspektiven der Nutzung unterschiedlicher Technologien.[44] Es handelt sich um eine repräsentative Befragung von rund 2.000 Produktions- und Dienstleistungsbetrieben im Frühjahr 2016 durch das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (Arntz et al. 2016a; 2016b; Arntz/Gregory/Zierahn 2018, S. 14–30). Die Studie unterscheidet korrespondierend zu den vier industriellen Revolutionen (vgl. Kapitel 1) folgende Technologien:

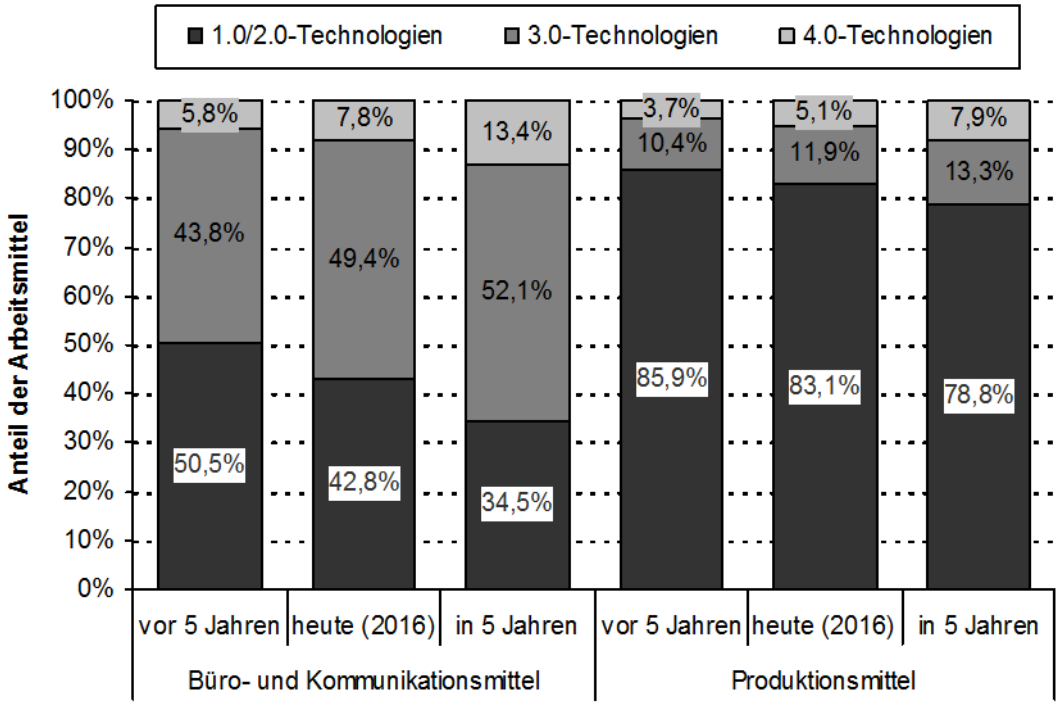
- 1.0/2.0-Technologien: Manuell gesteuerte Produktionsmittel (z. B. Bohrmaschinen, Kraftfahrzeuge, Röntgengeräte) und nicht IT-gestützte Büro- und Kommunikationsmittel (z. B. Telefone, Fax- und Kopiergeräte);
- 3.0-Technologien: indirekt gesteuerte Produktionsmittel (z. B. CNC-Maschinen, Industrieroboter, verfahrenstechnische Anlagen) und IT-gestützte Büro- und Kommunikationsmittel (z. B. Computer, Terminals, elektronische Kassen, CAD-Systeme);
- 4.0-Technologien: selbststeuernde Produktionsmittel (z. B. *Smart Factories*, *Cyber-Physische Systeme*) und IT-integrierte Büro- und Kommunikationsmittel (z. B. Analysetools mit *Big Data*, *Cloud Computing* Systeme, *Online*-Märkte).

Nach den Befragungsergebnissen nutzte im Frühjahr 2016 die Hälfte aller Betriebe 4.0-Technologien, bei einem Sechstel der Betriebe war sie

44 Für einen Überblick über 46 Studien zu Stand und Perspektiven der Digitalisierung im Mittelstand vgl. Demary et al. (2016).

sogar zentraler Bestandteil des Geschäftsmodells. Seinerzeit waren allerdings erst 5 Prozent der Produktionsmittel und 8 Prozent der Büro- und Kommunikationsmittel aller Arbeitsmittel im Durchschnitt aller Betriebe 4.0-Technologien (vgl. Abbildung 8). 3.0-Technologien hatten sich bei Büro- und Kommunikationsmitteln deutlich stärker als bei den Produktionsmitteln durchgesetzt. Im Vergleich zu fünf Jahren zuvor hat danach der Einsatz sowohl von 3.0- als auch von 4.0-Technologien etwas zugenommen. Auf Basis der seinerzeitigen betrieblichen Planungen für die nächsten fünf Jahre sollte der Anteil beider Technologien in beiden Bereichen etwas zunehmen.

Abbildung 8: Betriebliche Nutzung von Büro- und Kommunikationsmitteln sowie Produktionsmitteln nach Technologie



Anmerkung: Datengrundlage ist die im Frühjahr 2016 durchgeführte repräsentativen Befragung „Arbeitswelt 4.0“ von rund 2.000 Produktions- und Dienstleistungsbetrieben.
Quelle: Arntz et al. 2016a, S. 14.

Die Untersuchung der Auswirkungen des technologischen Wandels insgesamt insbesondere auf die Beschäftigung ist von besonderem Interesse und gleichzeitig methodisch anspruchsvoll. Daher wird hier auch über zwei Studien berichtet, die sich mit den generellen Veränderungen

in der Berufsstruktur im Zeitverlauf befassen, ohne dabei den Effekt der Digitalisierung isolieren zu können. Drei weitere Studien befassen sich explizit mit ökonomischen Konsequenzen der Digitalisierung. Zwei von ihnen untersuchen auf betrieblicher Ebene anhand der Befragung „Arbeitswelt 4.0“ Beschäftigungseffekte der Digitalisierung. Eine weitere Studie schließlich modelliert anhand mehrerer Datengrundlagen für 238 Regionen in 27 europäischen Staaten die Ersetzung von Routine-Tätigkeiten infolge des technologischen Wandels.

Das ifo Institut untersucht die Entwicklung der sozialversicherungspflichtig Vollzeitbeschäftigten von 1999 bis 2016 differenziert nach Berufsgruppen (Czernich et al. 2018). Allerdings ist die Entwicklung nicht allein auf den technischen Fortschritt zurückzuführen.[45] Wesentliche Datengrundlage sind Angaben der Bundesagentur für Arbeit. Für den Zeitvergleich wurden ab 2012 den Beschäftigten anhand der bekannten Berufsgattung (KldB 2010) eine Berufsordnung nach der vorherigen Klassifikation der Berufe, Ausgabe 1988, der Bundesanstalt für Arbeit (1988) zugeordnet. In dieser früheren Klassifikation gab es 334 Berufsordnungen (Bundesagentur für Arbeit 2011, S. 19), für die es nicht immer eine Entsprechung nach der neuen Systematik gibt, zudem ist die Zuordnung nicht immer eindeutig, so dass die Studie nicht nach allen 334 Berufsordnungen differenziert, sondern lediglich 262 Berufsordnungen berücksichtigt. Den Studienergebnissen zufolge haben von 1999 bis 2016 Beschäftigung (und Löhne) überproportional in Berufsordnungen mit geringen und höheren Entgelten zugenommen. Für die berücksichtigten Berufsordnungen weist die Studie zudem jeweils den Anteil an allen sozialversicherungspflichtig Vollzeitbeschäftigten in den Jahren 1999 und 2016 aus. Danach hat die Bedeutung von Stenograph/inn/en, Stenotypist/inn/en und Maschinenschreiberinnen und -schreibern deutlich abgenommen, die Maschinenbautechniker/innen sowie die Unternehmensberater/innen und Organisator/inn/en haben hingegen deutlich an Bedeutung gewonnen. Von den 1999 existierenden sozialversicherungspflichtigen Vollzeitarbeitsplätzen auf Ebene der 262 berücksichtigten Berufsordnungen gab es 2016 etwa 20 Prozent entweder nicht mehr oder sind neu hinzugekommen (Turbulenzrate).[46] Für 2012 bis 2016 nimmt die Studie auf Basis der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010, weitere Analysen vor. In diesem Zeitraum hat die Zahl der sozialversicherungspflichtigen Vollzeitbeschäftigten jährlich um durchschnittlich

45 Die Studie vergleicht Bayern mit dem Bund. Hier wird ausschließlich auf die Entwicklung in Deutschland insgesamt eingegangen.

46 Da im Betrachtungszeitraum die Zahl der sozialversicherungspflichtigen Vollzeitarbeitsplätze um etwa 9 % zugenommen hat, müssten etwa 5,5 % der Arbeitsplätze auf Ebene der 231 berücksichtigten Berufsordnungen entfallen sein.

1,5 Prozent zugenommen. Deutlich überdurchschnittlich war die Zunahme mit 2,9 Prozent bei Helfer/innen und mit 2,5 Prozent bei Expert/inn/en, unterdurchschnittlich bei Fachkräften mit 1,0 Prozent, leicht überdurchschnittlich mit 1,7 Prozent bei Spezialist/inn/en (vgl. auch Abbildung 10 in Kapitel 4).

Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) hat ökonometrisch untersucht, inwieweit das von ihm ermittelte berufsbezogene Substituierbarkeitspotenzial im Jahr 2013 (vgl. Abschnitt 2.2) einen Einfluss auf die Entwicklung der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung (ohne Angehörige der regulären Streitkräfte) differenziert nach fast 1.300 Berufsgattungen (KldB 2010) von 2013 bis 2016 hatte (Dengler/Matthes 2018a). Datengrundlage war die Beschäftigtenhistorik (BeH) des IAB, die Angaben zu sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigten enthält, für die Jahre 2013 bis 2016. Nach den Ergebnissen führte eine Erhöhung des Substituierbarkeitspotenzials im Jahr 2013 um zehn Prozentpunkte im Zeitraum von 2013 bis 2016 zu einer Reduktion des Beschäftigungswachstums um einen Prozentpunkt.

Das Institut der deutschen Wirtschaft Köln (IW) hat hauptsächlich auf Basis der Wellen 11 (2014), 14 (2015), 16 (2017) und 20 (2018) des IW-Personalpanels mit unterschiedlichen Methoden die Auswirkungen der bisherigen Digitalisierung auf die Beschäftigung untersucht (Stettes 2019). Das IW-Personalpanel ist eine wiederholte repräsentative Querschnittsbefragung von 1.000 bis 1.500 Unternehmen, die Personal beschäftigen (2015 und 2018 erst ab fünf Beschäftigten). Die Studie untersucht die Beschäftigungsentwicklung in den befragten Unternehmen jeweils in den letzten drei Jahren vor der Erhebung. Den Studienergebnissen zufolge war unter stärker digitalisierten Unternehmen der Anteil jener mit Beschäftigungswachstum höher als bei weniger stark digitalisierten Unternehmen. Allerdings kann unter Kontrolle weiterer Einflussgrößen kein Zusammenhang nachgewiesen werden. In stark digitalisierten Unternehmen war sowohl 2014 als auch 2018 der Anteil der Akademiker/innen an den Beschäftigten insgesamt deutlich höher als in anderen Unternehmen. Außerdem untersucht die Studie den Zusammenhang zwischen dem vom IAB für 2013 ermittelten Substituierbarkeitspotenzial und der tatsächlichen Beschäftigungsentwicklung von Ende März 2014 bis Ende März 2018 auf Ebene von 36 Berufshauptgruppen (ohne Angehörige der regulären Streitkräfte) differenziert nach vier Anforderungsniveaus (KldB 2010). Der Studie zufolge gibt es einen negativen Zusammenhang, ein hohes Substituierbarkeitspotenzial reduziert also das Beschäftigungswachstum. Allerdings gebe es etliche Berufshauptgruppen, bei denen Helferberufe trotz eines gleichen oder sogar höheren

Substituierbarkeitspotenzials eine günstigere Beschäftigungsentwicklung als Fachkräfte hatten.

Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) hat zudem ökonometrisch die Beschäftigungseffekte von Investitionen in neue digitale Technologien (Lehmer/Matthes 2017) untersucht. Datengrundlage ist die repräsentative Befragung „Arbeitswelt 4.0“ von rund 2.000 Betrieben im Frühjahr 2016, die mit der Beschäftigtenhistorik (BeH) des IAB, die Angaben zu sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigten enthält, für die Jahre 2012 bis 2015 verknüpft wurde. Anhand von Angaben der Betriebe zur Nutzung digitaler Technologien werden diese in drei Gruppen eingeteilt: „Vorreiter“ haben in den letzten fünf Jahren erheblich in diese Technologien investiert, die zudem zentraler Bestandteil ihres Geschäftsmodells sind. „Nachzügler“ nutzen keine 4.0-Technologien und haben dementsprechend in den letzten fünf Jahren auch nicht in sie investiert. Die größte Gruppe bildet das „Hauptfeld“ mit Betrieben, die schon in gewissem Umfang, aber nicht massiv in neue digitale Technologien investiert haben. Überdies wird bei den Betrieben nach Produzenten und Dienstleistern sowie nach wissensintensiven und nicht-wissensintensiven Bereichen unterschieden, wobei Betriebe der Informations- und Kommunikationstechnologie unabhängig davon eine gesonderte Gruppe bilden (insgesamt fünf Sektoren). Bei den Beschäftigten wird nach vier Anforderungsniveaus (KldB 2010) differenziert. Nach den Ergebnissen ist die Beschäftigung von Expert/inn/en von 2012 bis 2015 in Vorreiterbetrieben insbesondere im Bereich nicht-wissensintensiver Dienstleistungen und in der Informations- und Kommunikationstechnologie im Vergleich zu den Nachzüglern signifikant gestiegen. Im Vergleich zu den Nachzüglern hat sich hingegen bei den Vorreiterbetrieben insbesondere im Bereich nicht-wissensintensiver Dienstleistungen die Beschäftigung von Helferinnen und Helfern ungünstig entwickelt.

Das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) schätzt mit einem strukturellen Modell ökonometrisch die Effekte der Computerisierung von 1995 bis 2016 auf die Beschäftigung[47] (Arntz/Gregory/Zierahn 2018, S. 14–86, 119–126). Hierfür verwendet die Studie neben den Daten der repräsentativen Befragung „Arbeitswelt 4.0“ von rund 2.000 Betrieben im Frühjahr 2016 damit verknüpfte Daten zu Beschäftigten aus den Integrierten Erwerbsbiographien (IEB) des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) und die *World Input Output Database* (WIOD). Ausgehend von der aus den Daten bekannten Zuordnung zu einer der 144 Berufsgruppen (KldB 2010), wurde jedem Beschäftigten der Haupt-*Task* entsprechend der Klassifikation von Dengler/Matthes/

47 Darüber hinaus untersucht die Studie die Auswirkung auf Löhne, auf die hier nicht eingegangen wird.

Paulus (2014, S. 19f) zugeordnet (vgl. auch Abschnitt 2.2). In der weiteren Analyse wurde dann nach den aufgrund des Haupt-*Tasks* gebildeten fünf Beschäftigtengruppen und zugleich nach der Zuordnung zu einem von 13 Wirtschaftssektoren nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ 93), differenziert (65 Segmente). Das strukturelle Modell berücksichtigt u. a. das Arbeitsangebot in den fünf Beschäftigtengruppen, die Arbeitsnachfrage der 65 Segmente, die Nachfrage nach Produkten der 13 Wirtschaftssektoren im In- und Ausland sowie den Einsatz von drei unterschiedlich fortgeschrittenen Technologien, nämlich den zu Beginn dieses Abschnitts genannten 1.0/2.0-, 3.0- und 4.0-Technologien. Die Beschäftigungseffekte werden für die 65 Segmente ermittelt. Generell ersetzen nach den Ergebnissen 3.0-Technologien zunächst Arbeitskräfte, wobei die dadurch erzielten Kostensenkungen zu erhöhter Produktnachfrage führen und damit zumindest den Beschäftigungsrückgang begrenzen, wohingegen der Einsatz von 4.0-Technologien bereits unmittelbar einen vermehrten Einsatz von Arbeitskräften in analytischen und interaktiven Berufsfeldern erfordert. Von 1995 bis 2010 hat danach die Computerisierung zu einem Beschäftigungswachstum von durchschnittlich 0,18 Prozent jährlich geführt. Dieser moderate Gesamteffekt ist allerdings das Resultat gegenläufiger Entwicklungen: Nach den Analyseergebnissen ist die Beschäftigung in Berufsgruppen, die hauptsächlich mit manuellen und kognitiven Routine-Tätigkeiten befasst sind, jeweils um durchschnittlich knapp 0,2 Prozent jährlich zurückgegangen. Hingegen hat die Beschäftigung in Berufsgruppen, die hauptsächlich interaktive, analytische oder manuelle Nicht-Routine-Tätigkeiten erledigen, um durchschnittlich 0,2 Prozent, 0,4 Prozent bzw. 0,6 Prozent jährlich zugenommen. Die Beschäftigungsentwicklung in den Sektoren infolge der Computerisierung von 1995 bis 2010 war ebenfalls heterogen: Zugelegt hat sie insbesondere bei Verkehr und Nachrichten, Erziehung, Gesundheit und Soziales, bei der öffentlichen Verwaltung, im Gastgewerbe, im Baugewerbe sowie bei Elektronik und Fahrzeugbau. Abgenommen hat sie insbesondere im Handel und bei der Instandhaltung, in der Chemiebranche, im Metallbau, in Landwirtschaft und Bergbau sowie im sonstigen verarbeitenden Gewerbe. Im Zeitraum von 2011 bis 2016 hat die Beschäftigung infolge des technologischen Wandels nach den Ergebnissen insgesamt um etwa 1 Prozent zugenommen. Dabei haben die getätigten Investitionen zunächst die Beschäftigung um 5 Prozent reduziert, die Kostensenkungen haben jedoch die Produktnachfrage und damit die Produktion erhöht, so dass per Saldo dennoch die Beschäftigung infolge der technologischen Entwicklung zugenommen hat. Dabei haben sich die Beschäftigungseffekte des technologischen Wandels bei interaktiven und analytischen

Nicht-Routine-Tätigkeiten sowie bei kognitiven Routine-Tätigkeiten beschleunigt. Hingegen hat es nun auch bei manuellen Nicht-Routine-Tätigkeiten einen leichten Rückgang gegeben und – infolge einer erhöhten Nachfrage nach Elektronik und Fahrzeugen – einen leichten Anstieg manueller Routine-Tätigkeiten. Die Beschäftigungseffekte des technologischen Wandels verteilen sich nun deutlich anders als zuvor auf die Branchen: Insbesondere im Baugewerbe, aber auch bei Erziehung, Gesundheit und Soziales sowie bei Verkehr und Nachrichten waren die Beschäftigungseffekte nun negativ, hingegen in allen anderen Sektoren positiv. Im Zeitraum von 2011 bis 2016 hat nach den Ergebnissen der Abbau von 1.0/2.0-Technologie ebenso wie der Aufbau von 3.0-Technologie die Beschäftigung vermindert, dies wurde jedoch überkompensiert durch den positiven Beschäftigungseffekt zusätzlicher 4.0-Technologie.

Das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und die Universität Utrecht (Niederlande) haben ökonometrisch für 238 Regionen in 27 europäischen Staaten die Arbeitsnachfrage- und Beschäftigungseffekte der Ersetzung von Routine-Tätigkeiten infolge des technologischen Wandels untersucht (Gregory/Salomons/Zierahn 2018)[48]. Zugrunde liegen Beschäftigungsdaten der Europäischen Arbeitskräfteerhebung (AKE) von 1999 bis 2010[49], einer repräsentativen Befragung von privaten Haushalten (ohne Gemeinschaftsunterkünfte), regionale brachenspezifische Lohndaten aus den *European Regional Data* (ERD) von *Cambridge Econometrics* und die *Structural Analysis Database* (STAN) der OECD. Jenseits der unberücksichtigten Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht sowie Exterritorialen Organisationen und Körperschaften erfolgt eine dichotome Klassifikation der Wirtschaftsabschnitte danach, ob ihre Produkte und Dienstleistungen entweder als vollständig überregional verkäuflich (exportfähig) oder als ausschließlich lokal verkäuflich (nicht exportfähig) angesehen werden können. Die Studie modelliert die Arbeitsnachfrage der beiden Wirtschaftsektoren in den 238 europäischen Regionen für acht der zehn *major groups* der internationalen Berufsklassifikation *International Standard Classification of Occupations* (ISCO), Ausgabe 2008 (ohne Fachkräfte in der Landwirtschaft und Fischerei und ohne Streitkräfte), das regionale Einkommen und die regionale Produktnachfrage nach exportfähigen und nicht exportfähigen Produkten und Dienstleistungen. Es wird unterstellt, dass ausschließlich

48 Identisch mit Gregory/Salomons/Zierahn (2019); bei beiden handelt es sich um eine überarbeitete Fassung von Gregory/Salomons/Zierahn (2016), auf die daher hier nicht eingegangen wird.

49 Für einige Staaten, u. a. für Deutschland liegen regionale Beschäftigungsdaten erst ab einem späteren Zeitpunkt vor; die fehlenden Angaben wurden extrapoliert.

im Wirtschaftssektor der exportfähigen Produkte und Dienstleistungen Arbeit aufgrund des technologischen Fortschritts substituiert werden kann. Hinsichtlich der technischen Möglichkeit zur Substitution wird von dem nach acht *major groups* differenzierten Index für die Intensität von Routinetätigkeiten (vgl. Abschnitt 2.1) ausgegangen. Zudem unterstellt die Studie eine Elastizität des Arbeitsangebots von 0,5; dies bedeutet, dass sich bei einer Erhöhung (Reduktion) des Lohns um 1 Prozent das Arbeitskräfteangebot um 0,5 Prozent erhöht (vermindert).

Nach den Schätzergebnissen sind infolge des technologischen Wandels von 1999 bis 2010 in den 238 europäischen Regionen 1,6 Millionen Arbeitsplätze im Wirtschaftssektor der exportfähigen Produkte und Dienstleistungen ersetzt worden.[50] Die gestiegene Produktivität hat die Produktionskosten und Absatzpreise vermindert, wodurch die Produktnachfrage gestiegen ist. Die dadurch induzierte zusätzliche Produktion ging nach den Schätzergebnissen mit einem zusätzlichen Arbeitskräftebedarf von 1,4 Millionen einher. Diese zusätzliche Produktion wiederum hat das regionale Einkommen erhöht und entsprechend den Modellannahmen partiell die Nachfrage nach regional erzeugten, nicht exportfähigen Produkten und Dienstleistungen gesteigert. Dadurch ist der Arbeitskräftebedarf in diesem Wirtschaftssektor um 1,7 bis 2,0 Millionen gestiegen (Teil des Einkommens- oder Multiplikatoreffekts).[51] Per Saldo resultiert aus dem technologischen Wandel von 1999 bis 2010 in den 238 europäischen Regionen ein zusätzlicher Arbeitskräftebedarf von 1,5 bis 1,8 Millionen Tatsächlich hat die Beschäftigung in diesem Zeitraum um deutlich mehr als 20 Millionen zugenommen[52], so dass der technische Fortschritt nur für einen kleinen Teil der Beschäftigungsänderung verantwortlich ist.

50 Dieser Substitutionseffekt dürfte teilweise bereits den gegenläufigen Komplementäreffekt umfassen.

51 Es wurde alternativ angenommen, dass die resultierenden zusätzlichen Gewinne entweder vollständig in der gleichen Region oder vollständig außerhalb der betroffenen Region anfallen und verausgabt werden.

52 Die genaue Zahl wird nicht genannt, der Wert ist näherungsweise aus einer Abbildung abgelesen.

4. Projektionen

Die gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung werden von mehreren Studien durch den Vergleich alternativer Vorausberechnungen auf Basis unterschiedlicher Annahmen (Szenarien) ermittelt. Die Szenarien basieren dabei auf gesamtwirtschaftlichen Modellen, die ein Mindestmaß an Disaggregation hinsichtlich der Branchen und Berufe haben. Angenommen wird jeweils, dass in der Vergangenheit beobachtete Verhaltensweisen weiterhin gelten. Ein Referenzszenario geht jeweils zudem davon aus, dass bisher beobachtete Trends fortgesetzt werden, beispielsweise hinsichtlich der Digitalisierung. Alternativ wird in einem oder mehreren Szenarien eine beschleunigte Digitalisierung unterstellt. Durch den Vergleich der Resultate der Szenarien ergibt sich der Effekt einer beschleunigten Digitalisierung. Zunächst wird jedoch auf Basis einer Studie des ifo Instituts skizziert, welche Entwicklung differenziert nach Berufsgruppen sich durch eine Trendfortschreibung ergibt. Außerdem werden Studien der *Boston Consulting Group* und des *McKinsey Global Institute* vorgestellt, die versuchen, unmittelbar Auswirkungen der künftigen Digitalisierung zu quantifizieren.

Das ifo Institut schreibt die Entwicklung der sozialversicherungspflichtig Vollzeitbeschäftigten von 1999 bis 2016 differenziert nach Berufen bis 2030 fort (Czernich et al. 2018). Grundlage der Projektion sind die sozialversicherungspflichtig Vollzeitbeschäftigten von 1999 bis 2016 differenziert nach 262 der 334 Berufsordnungen nach der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 1988 (vgl. Abschnitt 3.4). Die Projektion erfolgt in fünf Varianten ohne Berücksichtigung etwaiger konjunktureller Schwankungen. Einzig in der Variante, die die Entwicklung der Jahre 1999 bis 2010 fortschreibt und damit die Hochkonjunktur der Jahre 2011 bis 2016 vernachlässigt, wird ein Rückgang projiziert, im Übrigen wird eine Beschäftigungszunahme vorausberechnet. Für eine Projektionsvariante wird die projizierte Veränderung für die 20 Berufsordnungen mit den meisten Beschäftigten im Jahr 1999 ausgewiesen. Danach nimmt die Zahl der sozialversicherungspflichtig Vollzeitbeschäftigten in sozialpflegerischen Berufen von 2016 bis 2030 um 39 Prozent zu, hingegen nimmt die Zahl der Maurer/innen und Betonbauer/innen um 39 Prozent ab. Aufgrund des methodischen Vorgehens (Trendfortschreibung) können die Beschäftigungseffekte der fortschreitenden Digitalisierung nicht isoliert werden.

Ausgehend vom Basisjahr 2015 projiziert die *Boston Consulting Group* anhand von Einschätzungen von zehn als künftig relevant eingeschätzten neuen digitalen Technologien (Schlüsseltechnologien) die Auswirkungen von deren Einsatz auf die Beschäftigung im verarbeiten-

den Gewerbe bis 2025 (Lorenz et al. 2015). In Zusammenarbeit mit 20 Branchenexpert/inn/en wurden für 40 Berufsfamilien in 23 Branchen die Produktivitätsgewinne der zehn Schlüsseltechnologien im verarbeitenden Gewerbe für existierende Aufgaben und erforderliche zusätzliche Tätigkeiten eingeschätzt. Weder die Einschätzungen noch ihre Herleitung sind nachvollziehbar. Zur Geschwindigkeit der Adaption der Schlüsseltechnologien und zum daraus resultierenden Wachstumsgewinn wurden Annahmen getroffen. Als wahrscheinlichstes Szenario werden eine Adaption von 50 Prozent und ein dadurch induziertes zusätzliches Wirtschaftswachstum von einem Prozentpunkt jährlich bis 2025 angesehen. In diesem Basisszenario ergibt sich ein Beschäftigungsgewinn bis 2025 von 350.000 Beschäftigten. Falls die Adaptionsrate um 20 Prozentpunkte höher (geringer) sein sollte, so reduziert (erhöht) dies den Beschäftigungseffekt um etwa 150.000. Falls das Wirtschaftswachstum um einen halben Prozentpunkt jährlich höher (geringer) sein sollte, so würde dies den Beschäftigungseffekt um etwa 400.000 erhöhen (vermindern).

Aufbauend auf seinen Berechnungen zum Automatisierungspotenzial (vgl. Abschnitt 2.1) hat das *McKinsey Global Institute* die Auswirkungen der Digitalisierung auf Zahl und Struktur der Arbeitsplätze in 46 Staaten einschließlich Deutschland von 2016 bis 2030 projiziert (Manyika et al. 2017b). Hierfür wurden teilweise Daten von 2014 zunächst bis 2016 fortgeschrieben. Die Studie berücksichtigt drei Szenarien für die Geschwindigkeit der Adaption der technischen Möglichkeiten, in Deutschland 47,91 Prozent der beruflichen Tätigkeiten zu automatisieren. Im Fall einer langsamen Adaption werden der Studie zufolge 2 Prozent, bei einer mittleren Adaptionsgeschwindigkeit 26 Prozent (9 Millionen Arbeitsplätze) und bei einer raschen Adaption 47 Prozent der beruflichen Tätigkeiten in Deutschland automatisiert. Im Gegenzug entstünden durch den technischen Fortschritt auch neue Arbeitsplätze. Die Studie schätzt für sieben ausgewählte Trends insgesamt, welches Potenzial sie zur Erhöhung des Arbeitskräftebedarfs haben: Steigende Einkommen, alternde Bevölkerung (und dadurch zusätzliche Beschäftigung im Gesundheitswesen), Entwicklung und Einführung neuer Technologien, Infrastrukturinvestitionen, Bau von Wohn- und Geschäftsgebäuden, Anpassung der Energieträger und Verbesserung der Energieeffizienz und Vergütung bislang unbezahlter Tätigkeiten. Teilweise wird bei diesen Trends noch zwischen einer Trendfortschreibung und einem Szenario mit größeren Zuwächsen unterschieden. Der Studie zufolge haben die sieben Trends das Potenzial, ausgehend vom Basisjahr 2016 in Deutschland bis 2030 je nach Szenario insgesamt zehn bis elf Millionen Arbeitsplätze zu schaffen. Dies würde den Arbeitsplatzverlust infolge der Adaption neuer

Technologien zur Automatisierung mit einer mittleren Geschwindigkeit überkompensieren. Nicht berücksichtigt werden neue, bislang unbekannte berufliche Tätigkeiten und Berufe. Der Studie zufolge sind in den USA jedes Jahr ungefähr 0,5 Prozent der Arbeitskräfte in zuvor unbekannten Berufen beschäftigt. Hochgerechnet auf den Zeitraum von 2016 bis 2030 könnten dadurch 8 Prozent bis 9 Prozent der Arbeitskräfte in neuen Berufen tätig sein. Unter der Annahme, dass in Deutschland die gleichen Qualifikationen für einen Beruf wie in den USA erforderlich sind, erhöht sich bei mittlerer Adaptionsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der sieben Trends hierzulande bis 2030 der Anteil von Arbeitsplätzen mit höheren Qualifikationsanforderungen und reduziert sich der Anteil derjenigen mit geringeren oder mittleren Qualifikationsanforderungen. Damit korrespondierend nimmt die Zahl der höher vergüteten Arbeitsplätze zu. Im Fall einer mittleren Adaptionsgeschwindigkeit müssen sich bis 2030 etwa 3 Millionen Arbeitskräfte und bei einer raschen Adaption rund 12 Millionen Arbeitskräfte beruflich neu orientieren. Die Studie weist auch Ergebnisse für 60 (ausgewählte) Berufsgruppen aus. Zusätzlich werden insbesondere im Gesundheitswesen und IT-Fachkräfte benötigt, u. a. bei Bürokräften, in der Gastronomie sowie bei Fertigungs- und Verkehrsberufen ist mit Arbeitsplatzverlusten zu rechnen.

Aufbauend auf der Schätzung der bisherigen Beschäftigungseffekte des technologischen Wandels (vgl. Abschnitt 3.4) hat das ZEW eine Projektion der Wirkungen des technologischen Wandels ausgehend vom Basisjahr 2016 bis 2021 vorgenommen (Arntz/Gregory/Zierahn 2018, S. 87–104, 127–134). Die Studie vergleicht drei Szenarien mit unterschiedlichem Ausmaß des Einsatzes neuer Technologien. Im Status Quo-Szenario (Referenzszenario) wird davon ausgegangen, dass sich die Investitionen in die 1.0/2.0-, 3.0- und 4.0-Technologien jeweils so wie im Zeitraum von 2011 bis 2016 entwickeln. Für ein Basisszenario wird angenommen, dass sich die Investitionen entsprechend der Erwartungen von rund 2.000 im Rahmen der Erhebung „Arbeitswelt 4.0“ befragten Betrieben im Frühjahr 2016 entwickeln und damit zumindest für 4.0-Technologien höher sind. In einem Beschleunigungsszenario wird unterstellt, dass die Investitionen in 4.0-Technologien nochmals um 20 Prozent schneller wachsen. Die Studie isoliert für alle drei Szenarien jeweils die Effekte der technologischen Investitionen. Im Status Quo-Szenario resultiert in den fünf Jahren aus den technologischen Investitionen ein Beschäftigungszuwachs von insgesamt 1,4 Prozent, die höheren Technologie-Investitionen im Basisszenario erhöhen den Beschäftigungszuwachs auf 1,8 Prozent, nochmals höhere Investitionen speziell in 4.0-Technologien reduzieren ihn allerdings auf 1,6 Prozent. Gleichwohl ist der isolierte Beschäftigungseffekt von Investitionen in 4.0-Technologien

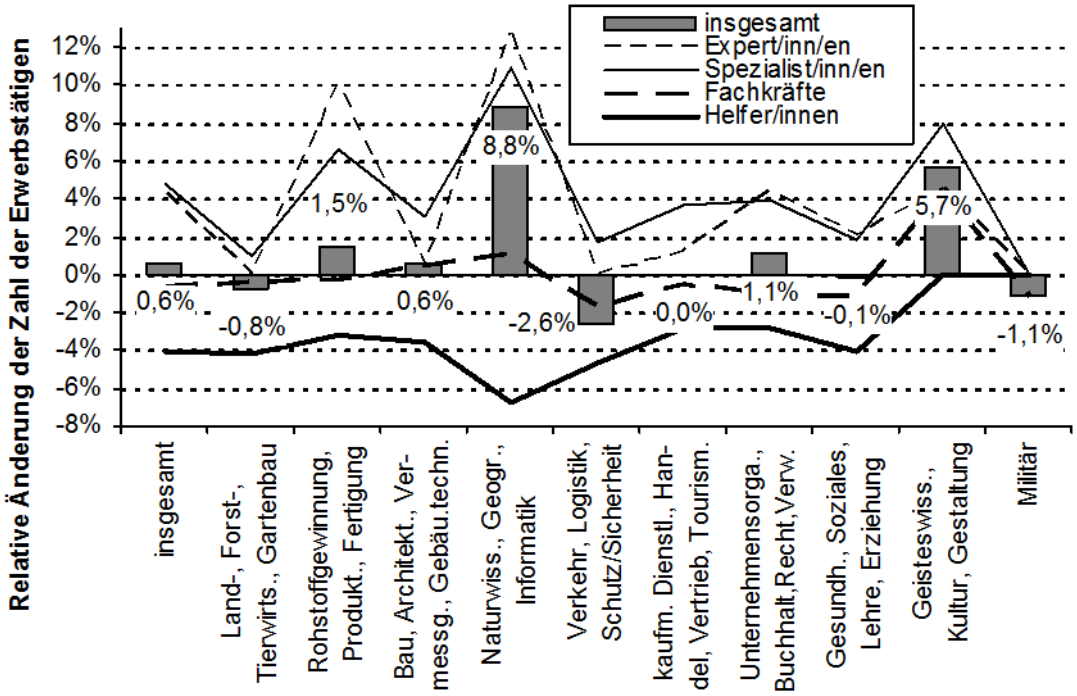
im Basisszenario mit über 4 Prozent deutlich positiv. Wie bereits im Zeitraum von 2011 bis 2016 (vgl. Abschnitt 3.4) steigt nach den Ergebnissen die Beschäftigung in Berufsgruppen, die hauptsächlich analytische oder interaktive Nicht-Routine-Tätigkeiten erledigen, und sinkt sie in Berufsgruppen, die hauptsächlich mit kognitiven Routine-Tätigkeiten befasst sind. Wiederum gibt es bei Berufsgruppen, die hauptsächlich mit manuellen Routine- oder Nicht-Routine-Tätigkeiten betraut sind, nur wenig Änderungen. Die Beschäftigungseffekte sind in den 13 betrachteten Wirtschaftssektoren unterschiedlich: Die Beschäftigung bei Erziehung, Gesundheit und Soziales ist von allen drei Investitionsszenarien negativ betroffen, die Beschäftigung im Baugewerbe, bei Verkehr und Nachrichten, im Gastgewerbe sowie bei Landwirtschaft und Bergbau lediglich bei manchen Szenarien; im Übrigen sind die Beschäftigungseffekte positiv.

Economix Research & Consulting haben ausgehend vom Basisjahr 2014 Prognosen für den Arbeitsmarkt bis 2030 erstellt (Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016). Die Vorausberechnung basiert auf einem sektoralen Strukturmodell für die deutsche Wirtschaft, das Arbeitsangebot und -nachfrage simultan schätzt, einer Bevölkerungsvorausschätzung sowie disaggregierten Modellen für Arbeitsnachfrage und -angebot differenziert nach Beruf und Qualifikationsgruppen. Die Datengrundlage bilden die Mikrozensen, die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, die Beschäftigtenstatistik, die Stellenangebotserhebung des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) sowie Angaben aus dem Zensus 2011 und ergänzend zur ausländischen Bevölkerung. Dabei sind die Daten nach 44 Wirtschaftszweigen nach der Systematik der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008), 147 Berufsgruppen und vier Anforderungsniveaus (KldB 2010) und zudem nach 29 Kategorien der Gliederung der fachlichen Berufsbildung differenziert. Die Studie untersucht ein Basisszenario mit stetiger Digitalisierung entsprechend dem bisherigen Trend und ein Szenario mit einer beschleunigten Digitalisierung. Die beiden Szenarien unterscheiden sich in vielfältiger Hinsicht (vgl. Tabelle 5). Die beschleunigte Digitalisierung erhöht nach den Ergebnissen die Zahl der Erwerbstätigen[53] um 208.000 (2020), 371.000 (2025) bzw. 263.000 (2030) im Vergleich zum Basisszenario. Zudem gibt es erhebliche Strukturverschiebungen zwischen den 44 betrachteten Branchen, den 37 Berufshauptgruppen und den vier Anforderungsniveaus (KldB 2010). Hinsichtlich der Anforderungsniveaus werden aufgrund der beschleunigten Digitalisierung bereits im Basisszenario angelegte Trends verstärkt: Helferberufe und Fachkraftberufe sind noch stärker rückläufig und der Aufwuchs bei Expert/inn/en ist noch stärker (vgl. auch Abbil-

53 In der Studie wird nicht zweifelsfrei klar, ob auch Selbstständige enthalten oder lediglich (abhängig) Beschäftigte gemeint sind.

dung 10). Im Gegensatz zum Basisszenario, das keine Veränderung bei Spezialist/inn/en projiziert, werden diese aufgrund der beschleunigten Digitalisierung zusätzlich benötigt. Abbildung 9 zeigt die projizierte Entwicklung für die zehn Berufsbereichen bis 2030 differenziert nach vier Anforderungsniveaus (KldB 2010). Aufwüchse infolge einer beschleunigten Digitalisierung gibt es danach vor allem in den beiden Berufsbereichen „Naturwissenschaft, Geografie und Informatik“ und „Sprach-, Literatur-, Geistes-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medien, Kunst, Kultur und Gestaltung“ und zwar vor allem für Spezialist/inn/en und Expert/inn/en. Auf Ebene der 37 Berufshauptgruppen werden infolge der beschleunigten Digitalisierung insbesondere Arbeitskräfte in den Bereichen IT, Maschinen- und Fahrzeugtechnik, Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik sowie Technische Entwicklung, Konstruktion und Produktionssteuerung benötigt (vgl. Tabellen 15 und 16 Anhang D). Rückläufig sind infolge der beschleunigten Digitalisierung medizinische Gesundheitsberufe (insbesondere Labor- und Pflegeberufe), Verkaufsberufe, Fahrzeugführer/innen, Verkehrs- und Logistikberufe sowie Reinigungsberufe. Im Jahr 2030 gibt es der Projektion zufolge in 13 Wirtschaftszweigen (u. a. im Maschinenbau, im Fahrzeugbau, in der Elektronikindustrie, bei IT-Dienstleistungen, Unternehmens- und Rechtsberatung sowie Forschung und Entwicklung) mehr Erwerbstätige aufgrund der beschleunigten Digitalisierung, insgesamt rund eine Million. Hingegen ist in 27 Wirtschaftszweigen die Erwerbstätigkeit aufgrund der beschleunigten Digitalisierung geringer, und zwar insgesamt um rund 750.000 Personen.

Abbildung 9: Economix-Projektion der Zahl der Erwerbstätigen infolge beschleunigter Digitalisierung von 2014 bis 2030 nach Berufsbereich und Anforderungsniveau



Anmerkung: Berufsbereiche und Anforderungsniveaus nach der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010; dargestellt ist die relative Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch eine beschleunigte Digitalisierung im Vergleich zum Basisszenario in Relation zur Zahl der Erwerbstätigen im Jahr 2014 bis zum Jahr 2030.
Quelle: Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016, S. 203–205; eigene Berechnungen.

Tabelle 5: Annahmen der Economix-Projektion

Entwicklungsbereich	Basisszenario	Szenario „Beschleunigte Digitalisierung“
Akzeptanz	kritische Akzeptanz; hohes Risikobewusstsein; intensiver Datenschutz	hohe Akzeptanz des digitalen technischen Fortschritts; *Sharing*-Kultur; geringe Bedeutung des Datenschutzes
Bildung	breit gestreute Bildungsangebote Förderung kreativer und interdisziplinärer Bildungsgänge; verhaltene Ausbreitung digitaler Lerntechniken	rascher Fortschritt im digitalen Lehren und Lernen; Ausbau der Studienfächer Informatik, Kommunikationstechnik und Datenanalyse; Integration digitaler Kompetenzen in viele Zweige der beruflichen Bildung
Beschäftigung	Verbreiterung der Tätigkeitsprofile; digitale Technik unterstützt Aufgabenerweiterung am Arbeitsplatz; Rationalisierung von Routinetätigkeiten; Flexibilisierung der Arbeitsverhältnisse wird begrenzt	stärkere Arbeitsteilung bei einfachen, höhere Spezialisierung bei qualifizierten Tätigkeiten; Förderung von Umschulung und Weiterbildung; fortschreitende Flexibilisierung der Arbeitsverhältnisse; soziale Absicherung der Selbstständigen; Nutzung digitaler Techniken zur beruflichen Integration von weniger Leistungsfähigen
Wettbewerb	gefährdete Märkte werden gegen digitale Konkurrenz so gut wie möglich abgesichert; Urheberrechts- und Patentschutz werden gestärkt	beschleunigter Eintritt in digitale Märkte; geringer Wettbewerbsschutz für „analoge“ Märkte; *Open-Source*-Modelle setzen sich durch; geringer Urheberrechtsschutz
Industrie 4.0	Adaption digitaler Konzepte; Spezialisierung auf industrielle Dienstleistungen	technologische Führerschaft in der Investitionsgüterproduktion wird verteidigt; hohe Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen; weltweite Anwerbung von IT-Expert/inn/en

Entwicklungsbereich	Basisszenario	Szenario „Beschleunigte Digitalisierung“
Unternehmensdienste	Verlagerung auf technische, wirtschaftliche und wissenschaftliche Beratung setzt sich fort; kreative und künstlerische Bereiche werden vorrangig entwickelt	hohe Investitionen in Software und *Big-Data*-Analysen; starker Nachfrageschub durch Industrie 4.0, selbstfahrende Fahrzeuge, digitale Medien, Rationalisierung der Verwaltungen etc.
Handel	verhaltene Akzeptanz des *Online*-Handels; Schutz von Handel und Handwerk; Ausbau von *Shopping*-Zentren; räumliche Präsenz bleibt wichtig	Ausweitung der Handelsplattformen zu Verbraucher- und Dienstleistungsplattformen; wachsende Zahl von Anbietern bei Konzentration auf wenige Plattformen; Plattformen vermarkten eigene Produkte; mehr Direktvermarktung durch Produzenten
Verkehr	hohe Präferenz für individuell gesteuertes Fahren; Anwendung selbstfahrender Fahrzeuge bleibt beschränkt (LKW-Spuren, Eisenbahn, verkehrsreiche Straßen etc.); Widerstand durch Taxi- und Verkehrsgewerbe	selbstfahrende Autos sind bis 2030 Standard; *Car-Sharing* setzt sich durch Vollautomatische Lagerhaltung Verkehrsleitsysteme optimieren Verkehrsfluss
Medien	Präferenz für Gedrucktes bleibt erhalten; sprachliche und kulturelle Orientierung der Medien bleibt wichtig	Rundfunk und Fernsehen wandeln sich zu Unterhaltungs- und Informationsplattformen; Konzentration auf wenige Plattformen; viele Informationslieferanten (*Blog*-Journalist/inn/en, Autor/inn/en, Künstler/innen); Printmedien schwinden wegen zu geringer Auflagen
Finanzwesen	Kundenpräferenz für individuelle Betreuung und kleine, regionale Anbieter; *Online-Banking* setzt sich wegen anhaltender Sicherheitsprobleme nur langsam durch	rasche Verbreitung des *Online-Banking*; virtuelle Währung gewinnt an Bedeutung; Auslagerung der *Back-Office*-Operationen auf spezialisierte Anbieter; Konzentration auf Investmentbanking, Firmengeschäft und großvolumiges Individualgeschäft

Entwicklungsbereich	Basisszenario	Szenario „Beschleunigte Digitalisierung“
Persönliche Dienste/ Medizin	soziale Betreuung bleibt personenbezogen; Präferenz der Haushalte für persönliche Dienste; geringe Akzeptanz von Haushaltsrobotern; Anwendung digitaler Medizintechnik durch Datenschutz verlangsamt	Vermittlung von Diensten über Informationsplattformen; steigende Technik-Intensität bei sozialen Diensten; digitale Medizintechnik wird stark entwickelt; Haushaltsroboter und digitale Haustechnik finden breite Anwendung
Öffentlicher Sektor	Technologiepolitik setzt auf technologische Kernkompetenzen und Adaption digitaler Technik; Diversifizierung statt Fokussierung der Mittel; verhaltener Ausbau der Netze; verhaltene Umstellung auf internetbasierte Verwaltung	starke Förderung der digitalen Technik; forcierter Ausbau der digitalen Netze; internetbasierte Verwaltung; digitale Verkehrsleitsysteme
Informationstechnische Industrien	Wachstumsimpulse bleiben verhalten; Spezialisierung zum Dienstleister für die Adaption meist ausländischer IT-Produkte; führend in IT-Sicherheit; steigende IT-Importe; Forschung und Entwicklung konzentriert sich auf Grundlagenforschung; geringe Spezialisierung	starke Wachstumsimpulse aus dem technologischen Wandel; hohe Spezialisierung auf Produktionssteuerung, Logistik, Netzwerktechnik; hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand; deutsche Hersteller versuchen, zur Spitze der IT-Anbieter vorzustoßen

Quelle: Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016, S. 100–102.

Mit der fünften Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen (Maier et al. 2018) haben das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) zum dritten Mal die Folgen einer verstärkten Digitalisierung („Wirtschaft 4.0“) auf den Arbeitsmarkt projiziert (Wolter et al. 2018).[54] Der Projektion ausgehend vom Basisjahr 2015 liegt das nach Wirtschaftszweigen, Produktionsbereichen und Gütergruppen differenzierte Simulationsmodell QINFORGE

54 Zu den beiden vorherigen Berechnungen vgl. Wolter et al. (2015; 2016), Helmrich et al. (2016, S. 71–86) und Zika et al. (2018).

zugrunde. Die Projektion bis 2035 ist differenziert nach 63 Wirtschaftszweigen und 141 Berufsgruppen[55] (KldB 2010) und vier Anforderungsniveaus. Die Datengrundlage bilden die Mikrozensen, die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung und Angaben zu sozialversicherungspflichtig und ausschließlich geringfügig Beschäftigten. Zudem basieren die technischen Möglichkeiten zur Automatisierung von Tätigkeiten auf der BIBB-Studie von Lewalder et al. (2018) (vgl. Abschnitt 2.2). Es wird angenommen, dass der berufsspezifische Arbeitskräftebedarf gedeckt werden kann, lediglich die Gesamtzahl der Erwerbstätigen ist durch das Erwerbspersonenpotenzial begrenzt, Die Wirkungen einer Digitalisierung werden durch den Vergleich der Ergebnisse eines Wirtschaft 4.0-Szenarios und des Basisszenarios ermittelt. Die Fortschreibung für das Basisszenario geht davon aus, dass Branchen mit bislang hohen Investitionen in neue Technologien auch weiterhin überdurchschnittlich investieren. Das Wirtschaft 4.0-Szenario geht davon aus, dass die Digitalisierung bis 2030 abgeschlossen ist. Seine Annahmen unterscheiden sich in vielfältiger Hinsicht von jenen des Basisszenarios (vgl. Tabelle 6). Die Ausschöpfung der technischen Automatisierungsmöglichkeiten ist an branchenspezifische Investitionen in neue Technologien geknüpft. Im Vergleich zum Basisszenario führt nach der Projektion das Wirtschaft 4.0-Szenario bis 2030 zu einem Wegfall von 100.000 und bis 2035 zum Wegfall von 140.000 Arbeitsplätzen. Der Rückgang im Verhältnis zur Gesamtzahl der nach dem Basisszenario im Jahr 2030 vorhandenen 45,2 Millionen Arbeitsplätze ist zwar relativ gering, jedoch gibt es erhebliche Strukturverschiebungen. Im Unterschied zum Basisszenario fallen auf Ebene von 141 Berufsgruppen in 63 Branchen bis 2030 etwa 670.000 Arbeitsplätze weg und es entstehen 570.000 neu; dies sind zusammen 1,24 Millionen bzw. 2,7 Prozent der im Jahr 2030 nach dem Basisszenario vorhandenen 45,2 Millionen Arbeitsplätze. Im Vergleich zu 2018 fallen damit insgesamt 2,54 Millionen Arbeitsplätze weg und es entstehen 2,77 Millionen neu; dies sind zusammen 11,7 Prozent der im Jahr 2018 existierenden Arbeitsplätze. Damit wären bis 2030 weniger als ein Viertel der Änderungen Folge einer beschleunigten Digitalisierung. Zusätzliche Arbeitsplätze entstünden infolge einer beschleunigten Digitalisierung insbesondere in der Branche Information und Kommunikation. Von den 141 Berufsgruppen gäbe es insbesondere für Informatik- und andere Berufe der Informations- und Kommunikationstechnik Zuwächse; Rückgänge müssten insbesondere Verkehrs- und Logistikbe-

55 Die vier Berufsgruppen für die Angehörigen der regulären Streitkräfte wurden zusammengefasst, so dass statt der 144 lediglich 141 Berufsgruppen ausgewiesen werden.

rufe hinnehmen (vgl. Tabelle 17 in Anhang D).[56] Der Studie zufolge ist die postulierte Steigerung der Nachfrage aus dem Ausland nach moderner, in Deutschland hergestellter Technologie wesentlich für das Ergebnis und gleichzeitig mit größerer Unsicherheit verbunden. Abbildung 10 zeigt die projizierte Entwicklung infolge einer beschleunigten Digitalisierung bis 2035 differenziert nach den vier Anforderungsniveaus (KldB 2010). Danach sind die Verluste bei Helfer/innen und die Gewinne bei Spezialist/inn/en und Expert/inn/en weniger ausgeprägt als bei der Economix-Projektion. Tatsächlich hat von 2012 bis 2016 die Zahl der Arbeitskräfte im Helferbereich am stärksten zugenommen. Die Tabellen 15 und 16 in Anhang D zeigen die projizierten Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die 37 Berufshauptgruppen und die ergänzend vom BIBB zur Verfügung gestellten, bislang unveröffentlichten Ergebnisse für die 37 Berufshauptgruppen differenziert nach den vier Anforderungsniveaus.

Eine weitere Studie des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB), des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) projiziert mit dem erweitertes Digitalisierungsszenario „Digitalisierte Arbeitswelt“ die Arbeitsmarkteffekte bis 2035 (Zika et al. 2019a; 2019b). Dieses Szenario sieht ergänzend zum Szenario „Wirtschaft 4.0“ eine Ausweitung des *Online*-Handels und von *E-Government* aus (vgl. Tabelle 6). Die Projektionsmethode ist analog zur Projektion des Szenarios „Wirtschaft 4.0“ durch Wolter et al. (2018). Der Projektion zufolge fallen im Vergleich zu 2018 insgesamt 2,73 Millionen Arbeitsplätze weg und es entstehen 2,79 Millionen neu. Im Vergleich zum Szenario „Wirtschaft 4.0“ fallen damit bis 2030 zusätzlich 184.000 Arbeitsplätze weg und es entstehen zusätzlich 21.000 Arbeitsplätze. Per Saldo ergibt sich im Vergleich zum Szenario „Wirtschaft 4.0“ bis 2030 ein Arbeitsplatzverlust von 163.000. Die Projektion weist keine berufsspezifischen Ergebnisse zum Arbeitskräftebedarf aus, sondern fokussiert auf die Identifizierung berufsspezifischer Fachkräfteengpässe.

56 Die Studie selbst enthält lediglich Angaben für die 15 Berufsgruppen mit den betragsmäßig größten Änderungen; Angaben für alle 141 berücksichtigten Berufsgruppen sind im Internet unter https://www.bibb.de/de/qube_datenportal.php verfügbar.

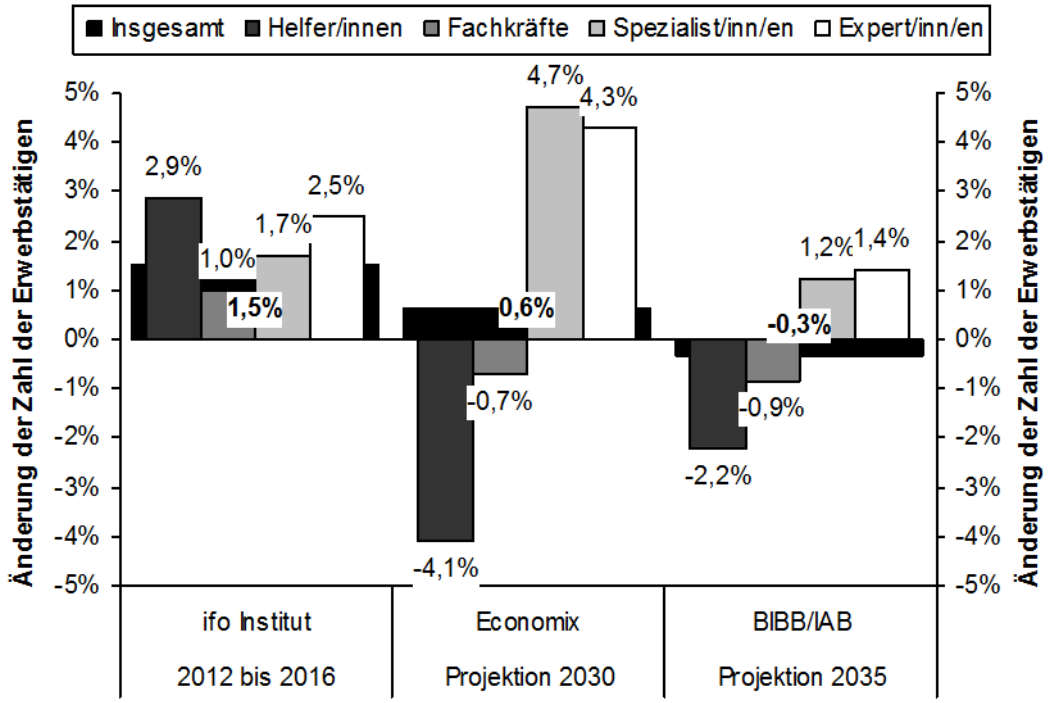
Tabelle 6: Annahmen von Szenarien einer beschleunigten Digitalisierung der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen

Annahme
Ausrüstungsinvestitionen
zusätzliche Investitionen in Sonstige Anlagen und neue Ausrüstungen: zusätzliche Ausrüstungsinvestitionen ca. 1,7 Milliarden Euro jährlich bis 2030
Umrüstung Kapitalstock Sensorik: Umrüstung von 2019 bis 2024 (2019: zusätzliche Investitionen 1 Milliarde Euro)
Umrüstung Kapitalstock IT-Dienstleistungen: zusätzliche Investitionen jährlich von 3 Milliarden Euro (bis 2024 oder bis 2030)
Bauinvestitionen
Investition „schnelles Internet“: zusätzliche Investitionen in den Netzausbau von 4 Milliarden Euro bis 2025
Verteilung auf Branchen: von den Investitionen in „schnelles Internet“ entfallen ca. 1 Milliarden Euro jährlich auf den Leitungsausbau und ca. 3 Milliarden Euro jährlich auf Tiefbauleistungen
ausgeglichener Finanzierungssaldo des Staates: Der Staat finanziert die Investitionen nicht über Schulden, der Finanzierungssaldo bleibt unverändert. Soweit im Vergleich zum Basisszenario nicht genügend Steuermehreinnahmen anfallen, werden zusätzliche Steuern erhoben.
Kosten- und Gewinnstrukturen
Weiterbildung: Der Anteil von Beschäftigten, die an unternehmensfinanzierter Weiterbildung teilnehmen, beträgt anstelle von 40 % im produzierenden Gewerbe und 35 % im Dienstleistungsbereich bis 2030 einheitlich 80 % (Kosten bisher ca. 718 Euro im produzierenden Gewerbe und 663 Euro im Dienstleistungsbereich je Teilnehmer/in).
Beratungsleistungen: Bis 2030 sind zusätzliche Beratungsleistungen von 1,5 %[a] notwendig, um neue Produktionsweisen zu implementieren.
Digitalisierungsgrad: Die Inanspruchnahme von Vorleistungen von IT- und Informationsdienstleistern wird branchenspezifisch in Abhängigkeit vom Digitalisierungspotenzial gegenüber dem Basisszenario bis 2030 erhöht.
Rückgang der Rohstoffe: In Landwirtschaft und produzierendem Gewerbe sinkt der Materialeinsatz bis 2030 um 0,72 % (Dienstleistungen: 1,2 %).
Rückgang der Kosten für Logistik: In Landwirtschaft, produzierendem Gewerbe und Dienstleistungen sinken die Vorleitungen für Logistik bis 2030 um 0,8 %
steigende Arbeitsproduktivität: Unternehmen investieren nur, wenn mit einer Rendite von 8 % bis 2030 zu rechnen ist.

Veränderung der Berufsfeld- und Anforderungsstrukturen
Automatisierbarkeitspotenzial der Berufe: Grundlage des berufsspezifischen Automatisierbarkeitspotenzials ist der Anteil der Beschäftigten, die nach Lewalder et al. (2018, S. 16–19) zu den 30 % mit dem höchsten Index zum Ersetzungspotenzial gehören (vgl. Abschnitt 2.2). Die Ausschöpfung dieses Potenzial hängt vom Ausmaß der Investitionen der berücksichtigten sechs Branchengruppen ab.
Anpassung der Arbeitsproduktivität an neue Lohnstruktur: Die partielle Nutzung des Automatisierbarkeitspotenzials führt zu einer anderen Berufsstruktur. Da Berufe mit hohem Ersetzbarkeitspotenzial tendenziell besser entlohnt werden, steigt die Lohnsumme[b] [sic!] infolge der neuen Berufsstruktur. Unter der Prämisse einer produktivitätsorientierten Entlohnung steige dementsprechend auch die durchschnittliche Arbeitsproduktivität.
Nachfragesteigerung
höhere Staatsausgaben für Sicherheit: Die staatlichen Konsumausgaben im Bereich der *Cyber*-Kriminalität, der *Cyber*-Kriegsführung und der Bundespolizei (Tätigkeitsbereich öffentliche Sicherheit) nehmen bis 2021 um 5 % zu und bleibt anschließend auf dem höheren Niveau.
zusätzliche Nachfrage privater Haushalte: Die Nachfrage privater Haushalte nach Gütern steigt bis 2025 um 2 % und nach Dienstleistungen um 3 %.
Exportsteigerung: Deutschland hat bei der Digitalisierung weltweit eine Vorreiterrolle und das Ausland reagiert mit einer Verzögerung von fünf Jahren, wodurch temporär Monopolgewinne realisiert werden können.
Verändertes Konsumverhalten (nur Szenario „Digitalisierte Arbeitswelt“)
verstärkte Nutzung des *Online*-Handels durch private Haushalte: Von 2015 bis 2035 nimmt der Anteil des *Online*-Handels am Einzelhandel sukzessive von 10 % auf 30 % zu.
E-Government (nur Szenario „Digitalisierte Arbeitswelt“)
zusätzliche Investitionen des Staates und Einsparungen bei Haushalten und Unternehmen: Bis 2030 geben die Gebietskörperschaften insgesamt ca. 1,7 Milliarden Euro für neue Informationstechnologie aus (ca. 100 Millionen Euro jährlich). Die Kosten von Unternehmen und Haushalten für die Inanspruchnahme öffentlicher Dienstleistungen wird dadurch vermindert.
[a] Basis unklar (Zusätzliche Investitionen in Sonstige Anlagen und neue Ausrüstungen oder Beratungsleistungen im Basisszenario). [b] Eine Zunahme der Lohnsumme erscheint nicht plausibel, möglicherweise sind stattdessen die Durchschnittsverdienste gemeint.

Anmerkung: Dargestellt sind die vom Basisszenario abweichenden Annahmen der Szenarien „Wirtschaft 4.0“ und „Digitalisierte Arbeitswelt“.
Quelle: Wolter et al. 2018, S. 13–21; Zika et al. 2019a, S. 9 und 2019b, S. 29–37.

Abbildung 10: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Anforderungsniveau

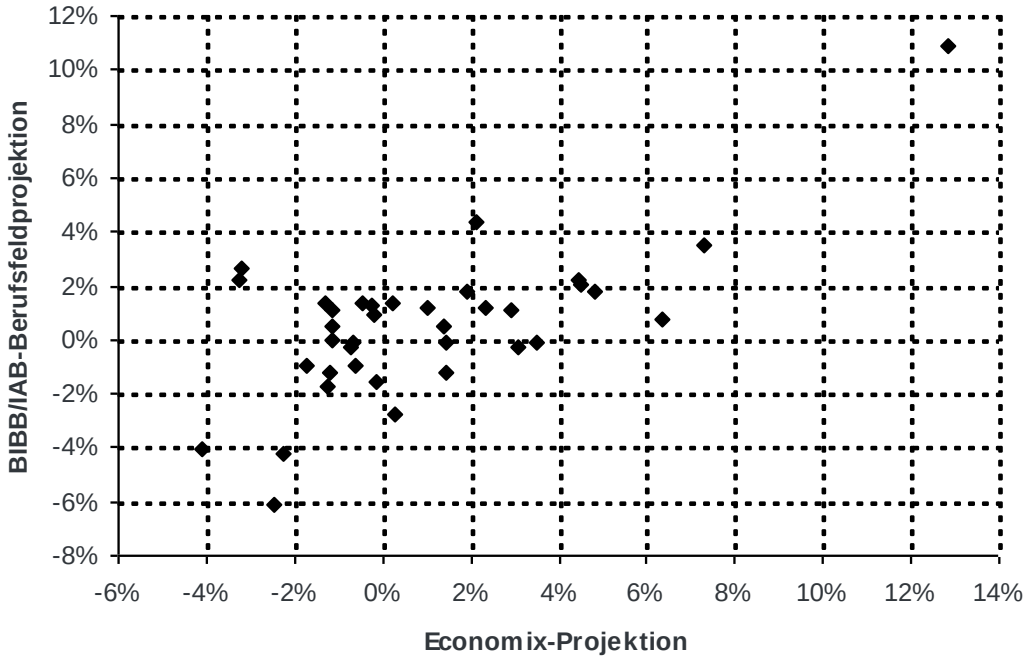


Anmerkung: Dargestellt ist die – aufgrund von Digitalisierung und anderer Einflussgrößen eingetretene – tatsächliche Veränderung der Zahl der sozialversicherungspflichtig Vollzeitbeschäftigten von 2012 bis 2016 (ifo Institut). Dargestellt ist zudem die relative Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch eine beschleunigte Digitalisierung (BIBB/IAB: Szenario „Wirtschaft 4.0") im Vergleich zum Basisszenario bis zum Jahr 2030 (Economix) bzw. 2035 (BIBB/IAB) in Relation zur Zahl der Erwerbstätigen im Jahr 2014 (Economix) bzw. 2015 (BIBB/IAB); Anforderungsniveaus entsprechend der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010 (vgl. Tabelle 9 in Anhang A). Quelle: Czernich et al. 2018, S. 54; Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016, S. 205; Wolter et al. 2018, http://www.qube-data.de, eigene Berechnungen.

Abbildung 11 zeigt die projizierten Konsequenzen für die Erwerbstätigkeit einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit differenziert nach den 37 Berufshauptgruppen (KldB 2010) bis 2030 nach der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion und der Projektion von Economix im Vergleich. Danach weisen die beiden Projektionen zumindest auf Ebene der stark aggregierten Berufshauptgruppen in eine ähnliche Richtung. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson mit einem Wert von 0,68

(0: keine lineare Korrelation; 1: perfekte positive lineare Korrelation) weist auf einen deutlichen linearen Zusammenhang hin.

Abbildung 11: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Berufshauptgruppen bis 2030



Anmerkung: Dargestellt ist die relative Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch eine beschleunigte Digitalisierung (BIBB/IAB: Szenario „Wirtschaft 4.0“) im Vergleich zum Basisszenario bis zum Jahr 2030 in Relation zur Zahl der Erwerbstätigen im Jahr 2014 (Economix) bzw. 2015 (BIBB/IAB); Berufshauptgruppen entsprechend der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010 (vgl. Tabelle 9 in Anhang A).
Quelle: Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016, S. 198–200; Wolter et al. 2018; http://www.qube-data.de, eigene Berechnungen.

5. Zusammenfassung und Fazit

In der vorliegenden Literaturstudie werden die Auswirkungen der bisherigen und künftigen Digitalisierung auf Zahl und berufliche Struktur der Erwerbstätigen in Deutschland thematisiert. Der Fokus auf Deutschland ist zweckmäßig, weil nicht a priori unterstellt werden kann, dass die Auswirkungen der Digitalisierung in anderen Ländern genauso wie hierzulande sind. Neben unterschiedlichen Branchenstrukturen – die durch adäquate Daten und Methoden ggf. berücksichtigt werden können – ist vor allem die duale Berufsausbildung ein Spezifikum Deutschlands. Insoweit ist davon auszugehen, dass Ergebnisse zu den Auswirkungen der Digitalisierung für andere Länder nicht ohne weiteres auf Deutschland übertragen werden können.

Digitale Prozessinnovationen können zunächst Arbeit im betroffenen Betrieb substituieren (Substitutionseffekt), gleichzeitig werden vielfach innerbetrieblich und/oder in anderen Betrieben zusätzliche Aufgaben etwa für Einführung, Bedienung, Wartung, Reparatur und Herstellung der neuen Technik anfallen (Komplementäreffekt). Der durch die Prozessinnovation induzierte Produktivitätsfortschritt kann zu Wettbewerbsvorteilen und damit zu zusätzlicher Produktnachfrage führen, die ihrerseits die Zahl der Erwerbstätigen erhöht (Produktnachfrage- oder Wettbewerbseffekt). Zudem wird aufgrund des verschärften Wettbewerbs ggf. die Beschäftigung in Konkurrenzbetrieben ohne Prozessinnovation reduziert (Verdrängungseffekt). Eine erhöhte Produktnachfrage generiert zusätzliches Einkommen, das generell die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen und dadurch die Zahl der Erwerbstätigen erhöhen kann (Einkommens- oder Multiplikatoreffekt).

Die meisten der vorliegend ausgewerteten Studien befassen sich lediglich mit Teilaspekten der skizzierten Effekte (vgl. Tabelle 8). Eine Vielzahl von Studien untersucht, inwieweit Berufe, Arbeitsplätze oder berufliche Tätigkeiten mit den derzeitigen oder künftigen technischen Möglichkeiten automatisierbar sind. Sie ermitteln also das technisch mögliche Potenzial ausschließlich für den Substitutionseffekt. Tatsächlich wird dieses Potenzial nicht vollständig genutzt werden und er wird zumindest partiell durch gegenläufige Effekte kompensiert. Weitere Studien befassen sich mit bestimmten Auswirkungen von Teilaspekten der bisher erfolgten Digitalisierung, etwa der Internet-Verfügbarkeit und dem Einsatz von Industrierobotern. Wenige, methodisch anspruchsvolle Studien versuchen, die Effekte der bisherigen Digitalisierung bzw. einer künftig beschleunigten Digitalisierung auf Zahl und Struktur der Erwerbstätigen insgesamt zu ermitteln.

Zahlreiche Studien befassen sich mit der technischen Automatisierbarkeit von Berufen, Arbeitsplätzen oder beruflichen Tätigkeiten:

- Anknüpfend an die viel beachtete Studie von Frey/Osborne (2013; 2017) für die USA haben mehrere Studien Ergebnisse zur Automatisierbarkeit von US-Berufen verwendet und auf Deutschland und andere Staaten übertragen. Diesen Studien zufolge haben Erwerbstätige bzw. Beschäftigte in Deutschland im Durchschnitt eine Wahrscheinlichkeit von 43 Prozent bis 52 Prozent, dass ihr Beruf bzw. ihr Arbeitsplatz künftig – in etwa ein bis zwei Dekaden – vollständig automatisierbar sein wird (Bonin/Gregory/Zierhan 2015; Arntz/Gregory/Zierahn 2016; Nedelkoska/Quintini 2018).
- Realistischerweise werden allerdings nicht ganze Berufe bzw. Arbeitsplätze, sondern spezifische berufliche Tätigkeiten automatisiert. Einer weiteren Studie zur Übertragung von Ergebnissen zur Automatisierbarkeit von US-Berufen zufolge sind in Deutschland 48 Prozent aller beruflichen Tätigkeiten bereits mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten automatisierbar (Manyika et al. 2017a). Zu Ergebnissen in ähnlicher Größenordnung kommen zwei originär nationale Studien, die das Substitutionspotenzial mit den technischen Möglichkeiten der Jahre 2013 und 2016 ermitteln (Dengler/Matthes 2015a; 2015b; Rentmeister et al. 2017; Dengler/Matthes 2018a).
- Mehrere Studien weisen den Anteil derjenigen aus, die einen Beruf ausüben bzw. einen Arbeitsplatz innehaben, der eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. ein hohes Substitutionspotenzial hat. Die Studienergebnisse haben eine enorme Bandbreite: Den beiden Studien zufolge haben zwischen 12 Prozent und 59 Prozent eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. ein hohes Substitutionspotenzial von mindestens bzw. mehr als 70 Prozent.
- Den meisten Studienergebnissen zufolge nimmt die Automatisierbarkeit mit dem Qualifikations- bzw. Anforderungsniveau ab.
- Mehrere Studien weisen Ergebnisse zur Automatisierbarkeit für verschiedene Berufsaggregate aus. Soweit vergleichbar, unterscheiden sie sich zwischen den Studien.

Angesichts der großen Heterogenität der Ergebnisse und aus methodischen Gründen (vgl. Abschnitt 2.3) sollten die Ergebnisse zur Automatisierbarkeit nur mit größter Vorsicht interpretiert werden.

Verschiedene Studien haben sich mit den bereits eingetretenen Auswirkungen der Digitalisierung auf Innovationen, Produktivität und Zahl und Struktur der Erwerbstätigen befasst. Jede Studie benötigt dafür beobachtbare Variation hinsichtlich der Digitalisierung oder eines Teilaspekts davon als mögliche Ursache für ökonomische Wirkungen. Unter-

schiede können sich etwa im Zeitverlauf ergeben oder zwischen Branchen und/oder Regionen vorliegen. Besonders groß ist die Variation sicherlich bei einer Analyse auf Firmenebene, hier ist zugleich die Zuordnung von Digitalisierung vergleichsweise präzise. Diesem Vorteil einer Analyse auf Firmenebene steht der Nachteil gegenüber, dass die ökonomischen Auswirkungen der Digitalisierung sich nur teilweise auf den gleichen Betrieb beziehen und daher nur teilweise beobachtbar sind. Bei einer Analyse auf regionaler Ebene werden diese Vor- und Nachteile relativiert, bei einer Analyse auf Bundesebene werden sie umgekehrt (vgl. Tabelle 7). Hier gibt es bei Analysen ausschließlich für Deutschland insgesamt keine regional unterschiedliche Digitalisierung, so dass sich die Identifikation der Auswirkungen auf die Entwicklung der Digitalisierung im Zeitverlauf und ggf. Unterschiede zwischen Branchen stützen muss. Dies allein reicht jedoch regelmäßig nicht aus, um adäquat die Folgen der Digitalisierung isolieren zu können. Daher kommt eine Analyse auf Bundesebene vor allem unter Einbeziehung weiterer Staaten in Betracht, wobei dann unterstellt werden muss, dass sich die Auswirkungen der Digitalisierung zwischen den Ländern nicht wesentlich unterscheiden. Die spezifischen Vor- und Nachteile müssen bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigt werden. Die Studien zu den bereits eingetretenen Auswirkungen der bisherigen Digitalisierung kommen zu folgenden Kernergebnissen:

- Internet:
  - Eine Studie auf Unternehmensebene befasst sich mit den Auswirkungen der Breitbandnutzung auf Innovationen (Bertschek/Cerquera/Klein 2013). Nach den Studienergebnissen befördert die Breitbandnutzung sowohl Produkt- als auch Prozessinnovationen.
  - Drei Studien befassen sich auf Firmenebene mit den Auswirkungen des Internets auf die Produktivität. Eine Studie auf Unternehmensebene konnte keinen Einfluss der Breitbandnutzung auf die Arbeitsproduktivität nachweisen; dies könnte angesichts des gleichzeitig festgestellten Einflusses auf Innovationen der Studie zufolge darauf zurückzuführen sein, dass ein positiver Produktivitätseffekt erst langfristig eintritt (Bertschek/Cerquera/Klein 2013). Eine weitere Studie ermittelt eine verminderte Produktionselastizität hoch routinierter Tätigkeiten, bei gering routinierten Tätigkeiten werde sie vermindert (Bastgen 2016, S. 61–94, 129–144). Der dritten Studie zufolge steigt die Arbeitsproduktivität durch eine Ausstattung der Beschäftigten mit mobilem Internet (Bertschek/Niebel 2015).
  - Eine Studie ermittelt auf betrieblicher Ebene heterogene Auswirkungen der DSL-Verfügbarkeit auf die Beschäftigung: In beste-

henden Dienstleistungsbetrieben wird sie erhöht, in Produktionsbetrieben in etwa gleichem Umfang vermindert (Stockinger 2019).
  - Eine Studie ermittelt auf regionaler Ebene einen (geringen) positiven Beschäftigungseffekt der DSL-Verfügbarkeit (Fabritz 2013).
- Industrieroboter:
  - Eine Studie untersucht auf betrieblicher Ebene die Auswirkungen von Industrierobotern und Handhabungssystemen in Betrieben des verarbeitenden Gewerbes mit mindestens 20 Beschäftigten in sieben europäischen Ländern, darunter Deutschland (Jäger/Moll/Lerch 2016). Sie kann weder Effekte auf die totale Faktorproduktivität noch Beschäftigungseffekte nachweisen.
  - Einer Studie zufolge hat der verstärkte Einsatz von Industrierobotern im Durchschnitt von 17 Ländern, darunter Deutschland, im Zeitraum von 1993 bis 2007 zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität mit 0,36 Prozentpunkten jährlich beigetragen (Graetz/Michaels 2018). Zugleich war infolge der Industrieroboter der Anteil von gering Qualifizierten am gesamten Arbeitsvolumen rückläufig.
  - Zwei Studien untersuchen auf regionaler Ebene die Beschäftigungseffekte von Industrierobotern. Eine Studie kommt zu dem Ergebnis, dass im Durchschnitt von sechs europäischen Ländern ein zusätzlicher Industrieroboter je 1.000 Beschäftigte per Saldo zu einem Rückgang der Zahl der Erwerbstätigen um 0,16 Prozent bis 0,20 Prozent der Bevölkerung führt (Chiacchio/Petropoulos/Pichler 2018). Nach eine anderen Studie für Deutschland ersetzt ein zusätzlicher Industrieroboter je 1.000 Beschäftigte 2,11 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe und führt zu fast zwei zusätzlichen Arbeitsplätzen im Dienstleistungssektor (Dauth et al. 2018). Zudem erhöhen der gleichen Studie zufolge Industrieroboter gleichwohl die Beschäftigungsstabilität im verarbeitenden Gewerbe, allerdings auch die (innerbetriebliche) berufliche Mobilität.
- Vernetzung und maschinelles Lernen: Eine Studie untersucht auf betrieblicher Ebene den Einfluss von Vernetzung (interne Vernetzung und Vernetzung mit Lieferanten oder Kunden) und des Einsatzes lernender Systeme auf Rekrutierung und Entlassungen (Warning/Weber 2017; 2018). Auswirkungen der Vernetzung konnten nicht nachgewiesen werden. Der Einsatz lernender Systeme hingegen erhöht die Zahl der Entlassungen und Rekrutierungen in ungefähr gleichem Ausmaß (drei bis vier Entlassungen und Einstellungen je 100 Beschäftigte).

- Technologischer Wandel insgesamt:
  - Drei Studien befassen sich mit den generellen Veränderungen in der Berufsstruktur im Zeitverlauf, ohne dabei den Effekt der Digitalisierung isolieren zu können. Einer Studie zufolge gab es von den 1999 existierenden sozialversicherungspflichtigen Vollzeitarbeitsplätzen auf Ebene der 262 berücksichtigten Berufsordnungen 2016 etwa 20 Prozent entweder nicht mehr oder sind neu hinzugekommen (Turbulenzrate) (Czernich et al. 2018). Zwei weitere Studien befassen sich mit der Änderung der Zahl der Beschäftigten in Abhängigkeit vom 2013 ermittelten berufsspezifischen Substituierbarkeitspotenzial. Einer der beiden Studien zufolge führte eine Erhöhung des Substituierbarkeitspotenzials im Jahr 2013 um zehn Prozentpunkte zu einer Reduktion des Wachstums der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von 2013 bis 2016 um einen Prozentpunkt (Dengler/Matthes 2018a). Damit korrespondierend stellt die zweite Studie einen negativen Zusammenhang zwischen Substituierbarkeitspotenzial im Jahr 2013 und Wachstum der Beschäftigung von Ende März 2014 bis Ende März 2018 fest (Stettes 2019).
  - Drei Studien untersuchen auf betrieblicher bzw. Unternehmensebene die Beschäftigungseffekte einer verstärkten Digitalisierung. Einer Studie zufolge haben stark digitalisierte Unternehmen in unterschiedlichen Drei-Jahres-Zeiträumen ein höheres Beschäftigungswachstum als weniger stark digitalisierte Unternehmen, wobei bei Kontrolle für weitere Merkmale ein Zusammenhang nicht nachgewiesen werden konnte (Stettes 2019). Zudem sei in stark digitalisierten Unternehmen der Anteil der Akademiker/innen unter den Beschäftigten höher. Einer weiteren Studie zufolge erhöht eine verstärkte Digitalisierung die Zahl der Beschäftigten auf Expertenniveau und reduziert die Zahl derjenigen in Helferberufen (Lehmer/Matthes 2017). Die dritte Studie kommt zu dem Ergebnis, dass von 1995 bis 2016 die Computerisierung zu einem Beschäftigungswachstum von durchschnittlich 0,18 Prozent jährlich geführt habe (Arntz/Gregory/Zierahn 2018, S. 14–86, 119–126). Dabei habe es gleichzeitig strukturelle Verschiebungen gegeben. Im Zeitraum von 2011 bis 2016 hat nach den Ergebnissen der Abbau von 1.0/2.0-Technologie ebenso wie der Aufbau von 3.0-Technologie die Beschäftigung vermindert, dies wurde jedoch überkompensiert durch den positiven Beschäftigungseffekt zusätzlicher 4.0-Technologie.
  - Eine Studie untersucht auf regionaler Ebene für 27 europäische Staaten, darunter Deutschland, die Arbeitsnachfrageeffekte der

Ersetzung von Routine-Tätigkeiten infolge des technologischen Wandels (Gregory/Salomons/Zierahn 2018). Der Studie zufolge sind etwa 1,5 bis 1,8 Millionen Arbeitsplätze des gesamten Beschäftigungswachstums von 20 Millionen Beschäftigten in den 27 europäischen Staaten von 1999 bis 2010 auf den technologischen Wandel zurückzuführen. Nach den Studienergebnissen haben vor allem Branchen profitiert, die nicht exportfähige Güter und Dienstleistungen herstellen.

Tabelle 7: Aussagekraft nach Analyseebene

Merkmal	**Analyseebene**		
	Firma	**Region**	**Bundesweit**
Ursache			
Zuordnung von Digitalisierung	präzise	mittel	unpräzise
Variation von Digitalisierung	hoch	mittel	gering
Wirkung			
Substitutionseffekt	ja	ja	ja
Komplementäreffekt	nur firmenspezifisch	nur regionalspezifisch	ja
Produktnachfrage- bzw. Wettbewerbseffekt	ja	ja	ja
Verdrängungseffekt	nein	nur regionalspezifisch	ja
Einkommens- bzw. Multiplikatoreffekt	nein	nur regionalspezifisch	ja

Quelle: Eigene Darstellung.

Insgesamt hat nach den Ergebnissen der vorliegenden Studien die Digitalisierung bislang keine oder allenfalls eher geringe – positive oder negative – Beschäftigungseffekte zur Folge. Gleichzeitig gibt es danach Verschiebungen zwischen Branchen und Berufen. So hat der Einsatz digitaler Technologien tendenziell den Bedarf an gering qualifizierter Arbeit vermindert und den Bedarf an (hoch) qualifizierten Tätigkeiten erhöht.

Einige Studien projizieren auf Basis der bisherigen die künftige Beschäftigungsentwicklung. Drei der fünf hier berücksichtigten Studien konstruieren unterschiedliche Szenarien für den Fortgang der Digitalisie-

rung, hier können jeweils die Unterschiede hinsichtlich der Beschäftigungsentwicklung auf die Digitalisierung zurückgeführt werden:

- Eine Studie schreibt die Entwicklung der sozialversicherungspflichtig Vollzeitbeschäftigten differenziert nach 262 Berufsordnungen im Zeitraum von 1999 bis 2016 bis 2030 fort (Czernich et al. 2018). Die Projektion erfolgt in fünf Varianten, wobei keine Rückschlüsse möglich sind, inwieweit die projizierte Entwicklung Folge einer fortschreitenden Digitalisierung ist. Einzig in der Variante, die die Entwicklung der Jahre 1999 bis 2010 fortschreibt und damit die Hochkonjunktur der Jahre 2011 bis 2016 vernachlässigt, wird ein Rückgang vorausberechnet, im Übrigen wird eine Beschäftigungszunahme projiziert. Dabei gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den Berufsordnungen.
- Eine Studie projiziert auf Basis von Einschätzungen von Branchenexpert/inn/en die Auswirkungen des Einsatzes von zehn digitalen Schlüsseltechnologien auf die Beschäftigung im verarbeitenden Gewerbe von 2015 bis 2025. Nach dem „wahrscheinlichsten“ Basisszenario gibt es hier bis 2025 infolge des Einsatzes dieser Technologien einen Zuwachs von 350.000 Beschäftigten.
- Eine Studie projiziert unter Berücksichtigung von Annahmen zur Adaption von neuen Technologien zur Automatisierung und sieben ausgewählten Trends, die zu zusätzlichem Arbeitskräftebedarf führen, die Beschäftigungseffekte von 2016 bis 2030. Der Studie zufolge werden bei einer mittleren Adaptionsgeschwindigkeit die Verluste von rund 9 Millionen Arbeitsplätzen bis 2030 durch die sieben Trends überkompensiert. Es gibt strukturelle Verschiebungen zugunsten höherer Qualifikationsanforderungen und höherer Verdienste.
- Eine Studie projiziert auf Betriebsebene die Beschäftigungsentwicklung von 2016 bis 2021 in drei Szenarien (Arntz/Gregory/Zierahn 2018, S. 87–104, 127–134). Die Technologie-Investitionen führen der Studie zufolge in dem 5-Jahres-Zeitraum zu einem Beschäftigungszuwachs von 1,4 Prozent bis 1,8 Prozent. Dabei steigt die Beschäftigung in Berufsgruppen, die hauptsächlich analytische oder interaktive Nicht-Routine-Tätigkeiten erledigen, und sinkt die Beschäftigung in Berufsgruppen, die hauptsächlich mit kognitiven Routine-Tätigkeiten befasst sind. Nur wenig Änderungen gibt es hingegen bei Berufsgruppen, die hauptsächlich mit manuellen Routine- oder Nicht-Routine-Tätigkeiten betraut sind. Aus methodischen Gründen unberücksichtigt bleiben überbetriebliche (positive) Komplementär- und Einkommens- bzw. Multiplikatoreffekte, aber auch (negative) Verdrängungseffekte in Konkurrenzbetrieben.
- Zwei Studien projizieren auf Basis komplexer Simulationsmodelle die Beschäftigungsentwicklung bis 2030 bzw. 2035 differenziert nach

Wirtschaftszweigen, rund 140 Berufsgruppen und vier Anforderungsniveaus. Neben einem Basisszenario wird jeweils ein Szenario einer beschleunigten Digitalisierung berücksichtigt, das sich in vielfältiger Hinsicht vom Basisszenario unterscheidet. Aufgrund dieser vielfältigen Unterschiede lassen sich die Beschäftigungseffekte einzelner Digitalisierungsmaßnahmen nicht isolieren:

- Nach der ersten Studie nimmt infolge einer beschleunigten Digitalisierung die Zahl der Erwerbstätigen von 2014 bis 2030 um 263.000 Personen zu (Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016). In 13 von 44 Wirtschaftszweigen gibt es danach rund 1 Million mehr Erwerbstätige, in 27 anderen Wirtschaftszweigen hingegen 750.000 weniger. Zudem sind aufgrund der beschleunigten Digitalisierung Helferberufe und Fachkraftberufe noch stärker rückläufig als im Basisszenario, Spezialist/inn/en und Expert/inn/en werden zusätzlich benötigt. Zudem gib es Verschiebungen zwischen den 37 Berufshauptgruppen.
- Nach der zweiten Studie hingegen führt eine beschleunigte Digitalisierung bis 2030 zu einem Rückgang der Zahl der Erwerbstätigen um 100.000 und bis 2035 um 140.000 (Wolter et al. 2018). Zudem führt eine beschleunigte Digitalisierung zu Strukturveränderungen: 670.000 Arbeitsplätze fallen bis 2030 aufgrund der beschleunigten Digitalisierung weg, 570.000 entstehen neu. Zusätzlichen Arbeitskräftebedarf gibt es danach vor allem in der Branche Information und Kommunikation.57

Ähnlich wie die Studien zu den bisherigen Auswirkungen der Digitalisierung werden künftig infolge einer (beschleunigten) Digitalisierung leichte Beschäftigungsgewinne oder -verluste projiziert. Auch in Relation zu den Auswirkungen des anstehenden demographischen Wandels, der das Erwerbspersonenpotenzial in den nächsten Jahren und Dekaden erheblich vermindern wird (Fuchs/Söhnlein/Weber 2017)[58], sind diese Beschäftigungseffekte allerdings sehr gering.

Relevanter dürften hingegen die nach den vorliegenden Projektionen zu erwartenden erheblichen Strukturverschiebungen zwischen Branchen und Berufen sein. So reduziert die fortschreitende Digitalisierung den Bedarf an gering qualifizierter Arbeit und erhöht den Bedarf an (hoch) qualifizierten Tätigkeiten. Allerdings dürfte es auch unabhängig von der

57 Zika et al. (2019a; 2019b) untersuchen ein Szenario mit leicht verstärkter Digitalisierung und leicht abweichenden Ergebnissen.

58 Für einen Literaturüberblick zu den Auswirkungen auf die sozialen Sicherungssysteme in Deutschland vgl. Kaltenborn (2019).

Digitalisierung Strukturverschiebungen geben, die die Auswirkungen einer – ggf. beschleunigten – Digitalisierung übersteigt.

Für gesellschaftliche und individuelle Entscheidungen zur Bewältigung von Strukturverschiebungen infolge der Digitalisierung wären verlässliche Projektionen zu deren Auswirkungen zweckmäßig. Die bislang vorliegenden Projektionen sind dafür allerdings nur bedingt geeignet und überdies gibt es grundsätzliche Grenzen:

- Zweckmäßig wären Projektionen der Auswirkungen der Digitalisierung auf Zahl und Struktur der Erwerbstätigen tief gegliedert nach fachlichen Anforderungen. Entsprechende Anhaltspunkte für die fachlichen Anforderungen liefern die BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion (Wolter et al. 2018) und die Projektion von Economix (Vogler-Ludwig/ Düll/Kriechel 2016). Wünschenswert wären allerdings beruflich (noch) tiefer gegliederte Projektionen. Unklar ist allerdings die Verlässlichkeit dieser Projektionen, sie dürfte jedenfalls mit der Tiefe der beruflichen Differenzierung abnehmen.
- Zweckmäßig wären zudem Projektionen der Auswirkungen der Digitalisierung auf Zahl und Struktur der Erwerbstätigen nicht nur tief gegliedert nach fachlichen Anforderungen, sondern auch regional differenziert.
- Projektionen gelten jeweils für ein spezifisches Digitalisierungsszenario. Daher bedarf es auch an einer verlässlichen umfassenden Projektion für die künftige Entwicklung der Technik und ihren Einsatz.
- Zahl und Struktur der Erwerbstätigen verändern sich nicht allein oder ganz überwiegend aufgrund der Digitalisierung, sondern maßgeblich auch aufgrund anderer relevanter Einflussgrößen. Gesellschaftliche und individuelle Entscheidungen müssen alle diese Änderungen berücksichtigen, insoweit können Projektionen zu den Auswirkungen der Digitalisierung nur einen Teilaspekt abdecken.

Aus dem Kreis der Forscher/innen, die methodisch anspruchsvolle, berufsdifferenzierte Projektionen erstellt haben, gibt es hierzu unterschiedliche Schlussfolgerungen:

- Der Forschungsstand zu den Wirkungen der fortschreitenden Digitalisierung auf die Wirtschaft – insbesondere in Bezug auf die notwendigen Investitionen und deren möglichen Auswirkungen sind „mangelhaft“ (Zika et al. 2019b, S. 29).
- „Im Grunde ist es ein anmaßendes Vorhaben, die Zukunft der Informationstechnik, und sei es nur für die nächsten 15 Jahre, vorherzusagen. Die Technologien, die im Jahr 2030 zur Anwendung kommen, sind zum guten Teil noch gar nicht erfunden, geschweige denn angewandt“ (Vogler-Ludwig 2017, S. 864).

Unabhängig davon gibt es auch gesellschaftliche und individuelle Strategien zur Bewältigung der Digitalisierung, für die die detaillierte berufliche Projektionen nicht zentral sind: So könnten etwa berufsübergreifend relevante Schlüsselqualifikationen vermittelt und generell die Anpassungsfähigkeit von Arbeitskräften etwa durch Verbesserung von Lernbereitschaft und -fähigkeit sowie Weiterbildungsmöglichkeiten gefördert werden. Die hierfür erforderlichen Kenntnisse, etwa die Identifikation relevanter Schlüsselqualifikationen, waren jedoch nicht Gegenstand dieser Literaturanalyse.

Tabelle 8: Merkmale verschiedener Studien

Studie	**Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum**	**Relevante Einflussgröße**	**Auswirkungen auf**							**Bemerkungen**
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	**Produktivität**	**Substitution**	**Komplementär**	**Produktnachfr.**	**Verdrängung**	**Einkommen**	
Automatisierungswahrscheinlichkeit und Substitutionspotenzial (Kapitel 2)					(x)					Ermittelt wird lediglich das technische Substitutionspotenzial, nicht die tatsächlich zu erwartende Substitution; vgl. auch Tabelle 4 in Abschnitt 2.3
Internet (Abschnitt 3.1)										
Dissertation an der Universität München: Bastgen (2016, S. 61–94, 129–144)	Betriebe mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten 2000, 2006 bis 2010	Verfügbarkeit von Breitband-Internet mit mindestens 384 kb/s		f						Arbeitsproduktivität als Produktionselastizität; Ergebnisse differenziert nach 3 Qualifikationsniveaus, 3 Routineintensitäten
IAB: Stockinger (2019)	Betriebe in ländlichen Regionen Westdeutschlands und ostdeutschen Städten 2005 bis 2010	Verfügbarkeit von DSL mit mindestens 384 kb/s			x	f	x			

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
ifo Institut: Fabritz (2013)	Gemeinden Westdeutschlands 2005 bis 2009 (sozialversicherungspflichtig Beschäftigte)	Verfügbarkeit von DSL mit mindestens 384 kb/s			x	r	x	r	r	
ZEW und Universität Düsseldorf: Bertschek/Cerquera/Klein (2013)	Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und unternehmensnaher Dienstleistungen mit mindestens fünf Beschäftigten 2001 bis 2003	Nutzung von Breitband-Internet (DSL oder Standleitung)	f	f						

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
ZEW: Bertschek/ Niebel (2015)	Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und unternehmensnaher Dienstleistungen mit mindestens fünf Beschäftigten 2014	Anteil der Beschäftigten mit mobilem Internetzugang		f						
Industrieroboter (Abschnitt 3.2)										
ISI: Jäger/Moll/ Lerch (2016)	Betriebe des verarbeitenden Gewerbes mit mindestens 20 Beschäftigten in 7 europäischen Ländern 2009 bis 2011	Nutzung von Industrierobotern; Intensität der Nutzung von Industrierobotern		f	x	f	x			
Universität Uppsala und LSE: Graetz/ Michaels (2018)	17 Länder 1993 bis 2007	Industrieroboter je 1 Million Arbeitsstunden auf Länderebene		x						Untersucht wird auch der Einfluss auf die Beschäftigtenstruktur

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
Bruegel: Chiacchio/Petropoulos/Pichler (2018)	116 NUTS2-Regionen in 6 europäischen Ländern (Erwerbstätige) 1995 bis 2007	Industrieroboter je 1.000 Beschäftigte auf NUTS2-Ebene			x	r	x	r	r	Ergebnisse differenziert nach 3 Qualifikationsgruppen, ausgewählten Berufsgruppen, 3 Altersgruppen, Geschlecht
IAB, Universitäten Würzburg, Mannheim und Düsseldorf: Dauth et al. (2018, S. 12–21)	402 Kreise 1994 bis 2014	Industrieroboter je 1.000 Beschäftigte auf Kreisebene			x	r	x	r	r	
IAB, Universitäten Würzburg, Mannheim und Düsseldorf: Dauth et al. (2018, S. 21–28)	fast 1 Million Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe 1994, Untersuchung für 2004 bis 2014	Industrieroboter je 1.000 Beschäftigte auf Branchenebene								Untersucht werden individuelle Beschäftigungsstabilität und berufliche Veränderungen

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
Vernetzung und maschinelles Lernen (Abschnitt 3.3)										
IAB: Warning/Weber (2017; 2018)	Betriebe mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig Beschäftigten 2010 bis 2015	Vernetzung; Einsatz lernender Systeme			x	f	x			Differenzierung der Untersuchung nach 5 Qualifikationsniveaus
Technologische Entwicklung insgesamt (Abschnitt 3.4)										
ifo Institut: Czernich et al. (2018)	sozialversicherungspflichtige Vollzeitbeschäftigte 1999 bis 2016	Zeit			x	x	x	x	x	keine Isolierung des Effekts der Digitalisierung; Ergebnisse differenziert nach 262 der 334 Berufsordnungen (KldB 1988), für 2012 bis 2016 nach 4 Anforderungsniveaus
IAB: Dengler/ Matthes (2018a)	sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (ohne reguläre Streitkräfte) 2013 bis 2016	Substituierbarkeitspotenzial			x	x	x	x	x	keine Isolierung des Effekts der Digitalisierung

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
IW: Stettes (2019)	Beschäftigte Ende März 2014 und Ende März 2018 differenziert nach 36 der 37 Berufshauptgruppen (ohne reguläre Streitkräfte) und 4 Anforderungsniveaus (KldB 2010)	Substituierbarkeitspotenzial			x	x	x	x	x	keine Isolierung des Effekts der Digitalisierung
IW: Stettes (2019)	Unternehmen mit mind. 1 bzw. 5 Beschäftigten 2011 bis 2018	Stand der Digitalisierung des Unternehmens			x	f	x			Differenzierung teilweise nach Art der Digitalisierungstechnologie; Ergebnisse differenziert nach 5 Qualifikationsniveaus
IAB: Lehmer/ Matthes (2017)	Betriebe 2016	Einsatz digitaler Technologien			x	f	x			Ergebnisse differenziert nach 4 Anforderungsniveaus

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
ZEW: Arntz/Gregory/ Zierahn (2018)	Betriebe 2016	Einsatz von Technologien differenziert nach 1.0/2.0-, 3.0- sowie 4.0-Technologien			x	f	x			Ergebnisse differenziert nach 5 Berufsgruppen (insb. Routine/Nicht-Routine), 3 Technologiearten, 13 Wirtschaftssektoren
ZEW und Universität Utrecht: Gregory/ Salomons/Zierahn (2018)	Beschäftigte in 238 Regionen 27 europäischer Staaten (ohne Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht, Exterritorialen Organisationen und Körperschaften, Streitkräfte) 1999 bis 2010	technologischer Fortschritt ausschließlich bei Produktion exportfähiger Güter und Dienstleistungen			x	x	x	x	x	

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
Projektionen (Kapitel 4)										
ifo Institut: Czernich et al. (2018)	ausgehend vom Basisjahr 2016 Projektion bis 2030	Zeit			x	x	x	x	x	Fortschreibung der Entwicklung von 1999 bis 2016 bis 2030 ohne Isolierung des Effekts der Digitalisierung; Differenzierung nach 20 größten der 86 Berufsgruppen (KldB 1988), ausgewählten Berufsordnungen (KldB 1988)
Boston Consulting Group: Lorenz et al. (2015)	ausgehend vom Basisjahr 2015 Projektion der Beschäftigungseffekte im verarbeitenden Gewerbe bis 2025	10 als künftig relevant eingeschätzte neue digitale Technologien (Schlüsseltechnologien)			(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	basiert auf Einschätzungen von 20 Branchenexpert/inn/en zu den Beschäftigungseffekten der 10 Schlüsseltechnologien

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
McKinsey Global Institute: Manyika et al. (2017b)	ausgehend vom Basisjahr 2016 Projektion der Beschäftigungseffekte bis 2030	Automatisierungspotenzial; Adaptionsgeschwindigkeit von Automatisierungsmöglichkeiten; 7 ausgewählte Trends der Erhöhung des Arbeitskräftebedarfs			x	(x)	(x)	(x)	(x)	3 Szenarien zur Adaptionsgeschwindigkeit; Trends bilden künftige Strukturänderungen nur partiell ab; Differenzierung der Ergebnisse nach 5 Bildungsniveaus und 60 (ausgewählten) Berufsgruppen
ZEW: Arntz/Gregory/Zierahn (2018)	ausgehend vom Basisjahr 2016 Projektion bis 2021	Einsatz von Technologien differenziert nach 1.0/2.0-, 3.0- sowie 4.0-Technologien (3 Szenarien)			x	f	x			Szenarien: Fortschreibung bisheriger Entwicklung; betriebliche Planungen; 4.0-Technologie über betrieblichen Planungen; Ergebnisse differenziert nach 5 Berufsgruppen (insb. Routine/Nicht-Routine), 3 Technologiearten, 13 Wirtschaftssektoren

Studie	Grundgesamtheit und Untersuchungs- bzw. Projektionszeitraum	Relevante Einflussgröße	Auswirkungen auf							Bemerkungen
					Erwerbstätigkeit					
			Innovationen	Produktivität	Substitution	Komplementär	Produktnachfr.	Verdrängung	Einkommen	
Economix Research & Consulting: Vogler-Ludwig/Düll/ Kriechel (2016)	ausgehend vom Basisjahr 2014 Projektion bis 2030	beschleunigte Digitalisierung (im Vergleich zum Basisszenario)			x	x	x	x	x	beschleunigte Digitalisierung umfasst vielfältige Maßnahmen; Ergebnisse differenziert nach 10 Berufsbereichen kombiniert mit 4 Anforderungsniveaus (KldB 2010), 29 Kategorien der fachlichen Berufsgliederung, 44 Wirtschaftszweigen (WZ 2008), 37 Berufshauptgruppen (KldB 2010)
BIBB/IAB/GWS: Wolter et al. (2018)	ausgehend vom Basisjahr 2015 Projektion bis 2035	beschleunigte Digitalisierung (im Vergleich zum Basisszenario)			x	x	x	x	x	beschleunigte Digitalisierung umfasst vielfältige Maßnahmen; Ergebnisse differenziert für 37 Berufshauptgruppen, 141 der 144 Berufsgruppen und 4 Anforderungsniveaus (KldB 2010) (vollständig nur über http://www.qube-data.de); ergänzend vom BIBB zur Verfügung gestellt: 37 Berufshauptgruppen differenziert nach 4 Anforderungsniveaus (KldB 2010)
BIBB/IAB/GWS: Zika et al. (2019a; 2019b)	ausgehend vom Basisjahr 2015 Projektion bis 2035	beschleunigte Digitalisierung (im Vergleich zum Basisszenario)			x	x	x	x	x	beschleunigte Digitalisierung umfasst vielfältige Maßnahmen; Ergebnisse differenziert f. 17 Branchen

Anmerkung:
x: ja;
(x): nur technisches Potenzial (Automatisierungswahrscheinlichkeit bzw. Substitutionspotenzial), nur verarbeitendes Gewerbe (Boston Consulting Group) bzw. nur infolge von sieben ausgewählten Trends (McKinsey Global Institute);
f: nur firmenspezifisch auf Unternehmens- bzw. Betriebsebene;
r: nur auf regionaler Ebene.
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der angegebenen Quellen.

Literatur

Arntz, Melanie/Gregory, Terry/Jansen, Simon/Zierahn, Ulrich (2016a): Tätigkeitswandel und Weiterbildungsbedarf in der digitalen Transformation, Gutachten des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung in Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaft, Mannheim, http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/DigitaleTransformationAcatechIKT2016.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Arntz, Melanie/Gregory, Terry/Lehmer, Florian/Matthes, Britta/Zierahn, Ulrich (2016b): Arbeitswelt 4.0 – Stand der Digitalisierung in Deutschland: Dienstleister haben die Nase vorn, IAB-Kurzbericht 22/2016, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2016/kb2216.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Arntz, Melanie/Gregory, Terry/Zierahn, Ulrich (2016): The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis, OECD Social, Employment and Migration Working Papers, Nr. 189, Paris, http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/the-risk-of-automation-for-jobs-in-oecd-countries_5jlz9h56dvq7-en (Abruf am 4. August 2019).

Arntz, Melanie/Gregory, Terry/Zierahn, Ulrich (2018): Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen., Mannheim, http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/DigitalisierungundZukunftderArbeit2018.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Autor, David (2014): Polanyi's Paradox and the Shape of Employment Growth, NBER Working Paper, Nr. 20485, Cambridge (Massachusetts), https://www.nber.org/papers/w20485.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Autor, David. H./Dorn, David (2013): The Growth of Low Skill Service Jobs and the Polarization of the U.S. Labor Market, In: American Economic Review 103, H. 5, S. 1553–1597, https://www.ddorn.net/papers/Autor-Dorn-LowSkillServices-Polarization.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Autor, David H./Levy, Frank/Murnane, Richard J. (2003): The Skill Content Of Recent Technological Change: An Empirical Exploration, In: The Quarterly Journal of Economics 118, H. 4, S. 1279–1333, https://economics.mit.edu/files/11574 (Abruf am 4. August 2019).

Bastgen, Andreas (2016): Employment Protection, Innovation and the Labor Market, Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, München, https://edoc.ub.uni-muenchen.de/20357/2/Bastgen_Andreas.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Beckert, Bernd/Buschak, Daniela/Graf, Birgit/Hägele, Martin/Jäger, Angela/Moll, Cornelius/Schmoch, Ulrich/Wydra, Sven (2016): Automatisierung und Robotik-Systeme, Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 11-2016, Karlsruhe, https://www.e-fi.de/fileadmin/Innovationsstudien_2016/StuDIS_11_2016.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Berriman, Richard/Hawksworth, John (2017): Will robots really steal our jobs?, The potential impact of automation on the UK and other major economies, In: PricewaterhouseCoopers (Hrsg.): UK Economic Outlook, S. 30–47, https://www.pwc.co.uk/economic-services/ukeo/pwc-uk-economic-outlook-full-report-march-2017-v2.pdf (Abruf am 4. August 2019), https://www.pwc.co.uk/economic-services/ukeo/pwcukeo-section-4-automation-march-2017-v2.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Bertschek, Irene/Briglauer, Wolfgang/Hüschelrath, Kai/Kauf, Benedikt/Niebel, Thomas (2015): The Economic Impacts of Broadband Internet: A Survey, In: Review of Network Economics 14, H. 4, S. 201–227.

Bertschek, Irene/Cerquera, Daniel/Klein, Gordon J. (2013): More Bits – More Bucks? Measuring the Impact of Broadband Internet on Firm Performance, Düsseldorf Institute for Competition Economics (DICE), Discussion Paper, Nr. 86, Düsseldorf, http://www.dice.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Wirtschaftswissenschaftliche_Fakultaet/DICE/Discussion_Paper/086_Bertschek_Cerquera_Klein.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Bertschek, Irene/Niebel, Thomas (2015): Mobile and More Productive? Firm-Level Evidence on the Productivity Effects of Mobile Internet Use, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Discussion Paper, Nr. 15-090, Mannheim, http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp15090.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Bonin, Holger/Gregory, Terry/Zierhan, Ulrich (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland, Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, Mannheim, ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise_BMAS_ZEW2015.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Brzeski, Carsten/Burk, Inga (2015): Die Roboter kommen, Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt, ING DiBa Economic Research, Frankfurt am Main, https://www.ing.de/binaries/content/assets/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-analysis-die-roboter-kommen.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Buch, Tanja/Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2016): Relevanz der Digitalisierung für die Bundesländer: Saarland, Thüringen und Baden-Württemberg haben den größten Anpassungsbedarf, IAB-Kurzbericht 14/2016, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2016/kb1416.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Bundesagentur für Arbeit (2011): Klassifikationen der Berufe 2010, Bd. 1, Systematischer und alphabetischer Teil mit Erläuterungen, Nürnberg, https://statistik.arbeitsagentur.de/Statischer-Content/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010/Printausgabe-KldB-2010/Generische-Publikationen/KldB2010-Printversion-Band1.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Bundesanstalt für Arbeit (1988): Klassifikationen der Berufe, Systematisches und alphabetisches Verzeichnis der Berufsbenennungen, Stand 1. September 1988, Nürnberg, https://statistik.arbeitsagentur.de/Statischer-Content/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB1975-1992/Generische-Publikationen/KldB1988-Systematischer-Teil.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2012): Jahresbericht 2011, Bonn, https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2012/Jahresbericht2011pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Abruf am 4. August 2019).

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2019): Jahresbericht 2018, Bonn, https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2019/JB2018.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (Abruf am 4. August 2019).

Chiacchio, Francesco/Petropoulos, Georgios/Pichler, David (2018): The Impact of Industrial Robots on EU Employment and Wages: A Local Labour Market Approach, Bruegel, Working Paper, Nr. 2, Brüssel, http://bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper_02_2018.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Czernich, Nina/Fackler, Thomas/Falck, Oliver/Ficht, Anita (2018): Auswirkungen der Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt, Ifo-Studie im Auftrag der IHK für München und Oberbayern (Hrsg.) im Rahmen des Vertrages zur Erstellung volkswirtschaftlicher Studien, München, https://www.ihk-muenchen.de/ihk/documents/Digitalisierung/Arbeit40/Digitalisierung-Arbeitsmarkt_final.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dauth, Wolfgang/Findeisen, Sebastian/Südekum, Jens/Wößner, Nicole (2017a): German Robots – The Impact of Industrial Robots on Workers, CEPR Discussion Paper, Nr. 12306, Nürnberg, http://conference.iza.org/conference_files/MacroEcon_2018/suedekum_j1695.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dauth, Wolfgang/Findeisen, Sebastian/Südekum, Jens/Wößner, Nicole (2017b): German Robots – The Impact of Industrial Robots on Workers, IAB Discussion Paper, Nr. 30/2017, Nürnberg, http://doku.iab.de/discussionpapers/2017/dp3017.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dauth, Wolfgang/Findeisen, Sebastian/Südekum, Jens/Wößner, Nicole (2018): Adjusting to Robots: Worker-Level Evidence, Federal Reserve Bank of Minneapolis, Opportunity and Inclusive Growth Institute, Institute Working Paper, Nr. 13, Minneapolis, https://www.minneapolisfed.org/institute/working-papers-institute/iwp13.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Demary, Vera/Engels, Barbara/Röhl, Klaus-Heiner/Rusche, Christian (2016): Digitalisierung und Mittelstand, Eine Metastudie, November 2016, IW-Analysen, Nr. 109, Köln, http://www.iwkoeln.de/_storage/asset/312105/storage/master/file/10916485/download/IW-Analyse_2016_109_Digitalisierung_und_Mittelstand.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dengler, Katharina (2019a): Substituierbarkeitspotenziale von Berufen und Veränderbarkeit von Berufsbildern, Impulsvortrag für die Projektgruppe 1 der Enquete-Kommission „Berufliche Bildung in der digitalen Arbeitswelt“ des Deutschen Bundestags am 11.3.2019, IAB-Stellungnahme 2/2019, Nürnberg, http://doku.iab.de/stellungnahme/2019/sn0219.pdf (Abruf am 4. August 2019), http://doku.iab.de/kurzber/2018/kb2218_Anhang.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dengler, Katharina (2019b): AW: HBS-Digitalisierung: Ihre Berechnungen zum Substituierbarkeitspotenzial (IAB-Forschungsbericht 11/2015; IAB-Kurzbericht 4/2018), E-Mail vom 23. Mai 2019.

Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2015a): Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt, Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland, IAB-Forschungsbericht 11/2015, Nürnberg, http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb1115.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2015b): In kaum einem Beruf ist der Mensch vollständig ersetzbar, Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt, IAB-Kurzbericht 24/2015, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2015/kb2415.pdf (Abruf am 4. August 2019), http://doku.iab.de/kurzgraf/2015/kb2415_anhang.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2018a): Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt, Substituierbarkeitspotenziale von Berufen, IAB-Kurzbericht 4/2018, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2018/kb0418.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2018b): The impacts of digital transformation on the labour market: Substitution potentials of occupations in Germany, In: Technological Forecasting and Social Change 137, S. 304-316.

Dengler, Katharina/Matthes, Britta/Paulus, Wiebke (2014): Berufliche Tasks auf dem deutschen Arbeitsmarkt, Eine alternative Messung auf Basis einer Expertendatenbank, FDZ Methodenreport 12/2014, Nürnberg, http://doku.iab.de/fdz/reporte/2014/MR_12-14.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Dengler, Katharina/Matthes, Britta/Wydra-Somaggio, Gabriele (2018): Regionale Branchen- und Berufsstrukturen prägen die Substituierbarkeitspotenziale, IAB-Kurzbericht 22/2018, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2018/kb2218.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Effenberger, Alexandra/Garloff, Alfred/Würzburg, Horst (2018): Beschäftigungseffekte der Digitalisierung – Forschungsansätze und Ergebnisse, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Diskussionspapier, Nr. 7, o.O., https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Diskussionspapiere/20180621-diskussionspapier-beschaeftigungseffekte-der-digitalisierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Abruf am 4. August 2019).

Engels, Friedrich (2016): Chancen und Risiken der Digitalisierung der Arbeitswelt für die Beschäftigung von Menschen mit Behinderung, Kurzexpertise des Instituts für Sozialforschung und Gesellschaftspolitik für das Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Forschungsbericht, Nr. 467, Bonn, https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/fb-467-digitalisierung-behinderung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Abruf am 4. August 2019).

Eurostat (2008): NACE Rev. 2, Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft, Luxemburg, https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902453/KS-RA-07-015-DE.PDF/(Abruf am 4. August 2019).

Fabritz, Nadine (2013): The Impact of Broadband on Economic Activity in Rural Areas: Evidence from German Municipalities, ifo Working Paper, Nr. 166, München, https://www.cesifo-group.de/DocDL/IfoWorkingPaper-166.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Falck, Oliver (2017): Does broadband infrastructure boost employment?, Broadband infrastructure has differing effects on workers of different skills, IZA World of Labor, Bonn, https://wol.iza.org/uploads/articles/341/pdfs/does-broadband-infrastructure-boost-employment.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Frey, Carl Benedikt/Osborne, Michael A. (2013): The Future of Employment: How susceptible are Jobs to Computerization?, Oxford, https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Frey, Carl Benedikt/Osborne, Michael A. (2017): The Future of Employment: How susceptible are Jobs to Computerization?, In: Technological Forecasting and Social Change 114, Ausgabe C, S. 254–280.

Fuchs, Johann/Söhnlein, Doris/Weber, Brigitte (2017): Arbeitskräfteangebot sinkt auch bei hoher Zuwanderung, Projektion des Erwerbspersonenpotenzials bis 2060, IAB-Kurzbericht 6/2017, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2017/kb0617.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Gensicke, Miriam/Tschersich, Nikolai (2018): BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018, Methodenbericht, Forschungsprojekt von Kantar Public im Auftrag des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), o.O., https://www.bibb.de/dokumente/pdf/a12_methodenbericht_etb1718.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Goos, Maarten/Manning, Alan/Salomons, Anna (2014): Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring, In: The American Economic Review 104, H. 8, S. 2509–2526, https://assets.aeaweb.org/asset-server/articles-attachments/aer/app/10408/20111536_app.pdf (Anhang) (Abruf am 4. August 2019).

Graetz, Georg/Michaels, Guy (2018): Robots at Work, Review of Economics and Statistics 100, H. 5, S. 753–768.

Gregory, Terry/Salomons, Anna/Zierahn, Ulrich (2016): Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe, ZEW Discussion Paper, Nr. 16-053, Mannheim, http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp16053.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Gregory, Terry/Salomons, Anna/Zierahn, Ulrich (2018): Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe, CESifo Working Paper, Nr. 7247, München, http://www.cesifo-group.de/DocDL/cesifo1_wp7247.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Gregory, Terry/Salomons, Anna/Zierahn, Ulrich (2019): Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe, IZA Discussion Paper, Nr. 12063, Bonn, http://ftp.iza.org/dp12063.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Hawksworth, John/Berriman, Richard/Goel, Saloni (2018): Will robots really steal our jobs?, An international analysis of the potential long term impact of automation, PricewaterhouseCoopers, o.O., https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/international-impact-of-automation-feb-2018.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Helmrich, Robert/Tiemann, Michael/Troltsch, Klaus/Lukowski, Felix/Neuber-Pohl, Caroline/Lewalder, Anna Christin/Güntürk-Kuhl, Betül (2016): Digitalisierung der Arbeitslandschaften, Keine Polarisierung der Arbeitswelt, aber beschleunigter Strukturwandel und Arbeitsplatzwechsel, Bundesinstitut für Berufsbildung, Wissenschaftliche Diskussionspapiere, H. 180, Bonn, https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/8169 (Abruf am 4. August 2019).

International Labour Organization (2012): International Standard Classification of Occupations ISCO-08, Bd. 1, Structure, group definitions and correspondence tables, Genf, https://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/isco/docs/publication08.pdf (Abruf am 4. August 2019).

International Labour Organization (Hrsg.) (2017): Skill Needs Anticipation: Systems and Approaches, Analysis of stakeholder survey on skill needs assessment and anticipation, Genf, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---ifp_skills/documents/publication/wcms_616207.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Jäger, Angela/Moll, Cornelius/Lerch, Christian (2016): Analysis of the impact of robotic systems on employment in the European Union – 2012 data update, Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) für die Europäische Kommission, Luxemburg, ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=11165 (Abruf am 4. August 2019).

Kalinowski, Michael (2019): AW: HBS-Digitalisierung: Daten aus der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen (5. Welle), E-Mail vom 28. Mai 2019.

Kaltenborn, Bruno (2019): Wirkungen des anstehenden demographischen Wandels auf die sozialen Sicherungssysteme in Deutschland, In: Michael Opielka (Hrsg.): Zukunftslabor Schleswig-Holstein, Demographie und Digitalisierung #ZLabSH, ISÖ-Text, Nr. 2019-1, Norderstedt: Books on Demand, S. 24–110, https://www.isoe.org/wp-content/uploads/2019-4-16-IS%C3 %96-Text-2019-1-Zukunftslabor-Schleswig-Holstein-Demographie-und-Digitalisierung_korrigiert.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Lehmer, Florian/Matthes, Britta (2017): Auswirkungen der Digitalisierung auf die Beschäftigungsentwicklung in Deutschland, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Aktuelle Berichte, Nr. 5/2017, Nürnberg, http://doku.iab.de/aktuell/2017/aktueller_bericht_1705.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Lewalder, Anna Christin/Lukowski, Felix/Neuber-Pohl, Caroline/Tiemann, Michael (2018): Operationalisierung von Ersetzungspotentialen in Erwerbstätigkeiten durch Technologie, Bundesinstitut für Berufsbildung, Vorabversion, Bonn, https://www.bibb.de/dokumente/pdf/polar_Ersetzungen_in_Berufen-final-01.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Lorenz, Markus/Rüßmann, Michael/Strack, Rainer/Lueth, Knud Lasse/Bolle, Moritz (2015): Man and Machine in Industry 4.0, How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? Boston Consulting Group (Hrsg.), o.O., http://image-src.bcg.com/Images/BCG_Man_and_Machine_in_Industry_4_0_Sep_2015_tcm108-61676.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Maier, Tobias/Zika, Gerd/Kalinowski, Michael/Mönnig, Anke/Wolter, Marc Ingo/Schneemann, Christian (2018): Bevölkerungswachstum bei geringer Erwerbslosigkeit, BIBB-Report, Jg. 12, H. 7, Bonn, https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/9376 (Abruf am 4. August 2019).

Manyika, James/Chui, Michael/Miremadi, Mehdi/Bughin, Jacques/George, Katy/Willmott, Paul/Dewhurst, Martin (2017a): A future that works: Automation, employment, and productivity, McKinsey Global Institute, o.O., https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Featured%20Insights/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works_Full-report.ashx (Abruf am 4. August 2019).

Manyika, James/Lund, Susan/Chui, Michael/Bughin, Jacques/Woetzel, Jonatha/Batra, Parul/Ko, Ryan/Sanghvi, Saurabh (2017b): Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation, McKinsey Global Institute, o.O., https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Featured%20Insights/Future%20of%20Organizations/What%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/MGI-Jobs-Lost-Jobs-Gained-Report-December-6-2017.ashx (Abruf am 4. August 2019).

Matthes, Britta/Meinken, Holger/Neuhauser, Petra (2015): Berufssektoren und Berufssegmente auf Grundlage der KldB 2010, Methodenbericht der Statistik der Bundesagentur für Arbeit, Nürnberg, http://doku.iab.de/externe/2015/k150424301.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Nedelkoska, Ljubicy/Quintini, Glenda (2018): Automation, Skills Use and Training, OECD Social, Employment and Migration, Working Papers, Nr. 202, Paris, https://www.oecd-ilibrary.org/deliver/2e2f4eea-en.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpaper%2F2e2f4eea-en&mimeType=pdf (Abruf am 4. August 2019).

OECD (2016): The Survey of Adult Skills, Reader's Companion, Second Edition, OECD Skills Studies, Paris, https://www.oecd.org/skills/piaac/The_Survey%20_of_Adult_Skills_Reader%27s_companion_Second_Edition.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Paulus, Wiebke/Matthes, Britta (2013): Klassifikation der Berufe, Struktur, Codierung und Umsteigeschlüssel, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, FDZ-Methodenreport 08/2013, Nürnberg, http://doku.iab.de/fdz/reporte/2013/MR_08-13.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Pfeiffer, Sabine (2016a): Arbeitsvermögen (AV-Index) – Datenkompendium Branchen 2012, AV-Index nach Branchen und Qualifikationsniveau auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012, Universität Hohenheim, Fachgebiet Soziologie, Working Paper, Nr. WP-03-2016, Hohenheim, https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2016-Pfeiffer-AV-Index-Branchen.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Pfeiffer, Sabine (2016b): Arbeitsvermögen (AV-Index) – Datenkompendium Länder 2012, AV-Index nach Bundesländern und Qualifikationsniveau auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012, Universität Hohenheim, Fachgebiet Soziologie, Working Paper, Nr. WP-04-2016, Hohenheim, https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2016-Pfeiffer-AV-Index-Laender.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Pfeiffer, Sabine (2018a): Die Quantifizierung von Nicht-Routine: Zur ökologischen Validierung des Arbeitsvermögen-Index – und einem anderen Blick auf das Ersetzungspotenzial von Produktionsarbeit, In: Arbeit – Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik 27, H. 3, S. 213–237.

Pfeiffer, Sabine (2018b): The ‚Future of Employment' on the Shop Floor: Why Production Jobs are Less Susceptible to Computerization than Assumed, In: International Journal for Research in Vocational Education and Training 5, H. 3, S. 208–225.

Pfeiffer, Sabine/Suphan, Anne (2015): Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0, Universität Hohenheim, Fachgebiet Soziologie, Working Paper, Nr. 2015 #1, Finale Fassung des ursprünglich am 13. April 2015 publizierten Drafts, Hohenheim, https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-final.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Pfeiffer, Sabine/Suphan, Anne (2019): Digitalisierung, Arbeit und Beschäftigung: Altbekannte Zusammenhänge, überholte Kategorien, neuartige Effekte?, In: Soziale Welt, Sonderband Soziologie des Digitalen – digitale Soziologie, im Erscheinen.

Rentmeister, Heinrich/Jentzsch, Andreas/Bauer, Patrick/Almeida, Tim Arnold de/Bayaz, Danyal (2017): Schöne neue Arbeitswelt 4.0?, Was wir tun müssen, damit uns die Arbeit nicht ausgeht, The Boston Consulting Group, o.O., https://www.bcg.com/Images/27Nov_Report_Arbeitswelt4.0_tcm58-178261.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Rohrbach-Schmidt, Daniela (2009): The BIBB/IAB- and BIBB-BAuA Surveys of the Working Population on Qualification and Working Conditions in Germany, Version 1.1, BIBB-FDZ Daten- und Methodenberichte, Nr. 1/2009. Bonn, https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/6526 (Abruf am 4. August 2019).

Rohrbach-Schmidt, Daniela/Hall, Anja (2013): BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012, Version 5.0, BIBB-FDZ Daten- und Methodenberichte, Nr. 1/2013, Bonn, https://metadaten.bibb.de/download/2143 (Abruf am 4. August 2019).

Statistisches Bundesamt (2003): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen, Ausgabe 2003, Wiesbaden, https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/klassifikation-wz-2003-erlaeuterung.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Abruf am 4. August 2019).

Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Mit Erläuterungen, 2008, Wiesbaden, https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/klassifikation-wz-2008-3100100089004.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (Abruf am 4. August 2019).

Stettes, Oliver (2019): Keine Angst vor Robotern – eine Aktualisierung, Beschäftigungseffekte der Digitalisierung – Befunde des Arbeitsmarktmonitoring des IW, IW-Report, Nr. 17/2019, Köln, https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Report/PDF/2019/IW-Report_2019_Beschaeftigungseffekte_Digitalisierung.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Stockinger, Bastian (2019): Broadband internet availability and establishments' employment growth in Germany: evidence from instrumental variables estimations, In: Journal for Labour Market Research 53, Nr. 7, S. 1–23, https://labourmarketresearch.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s12651-019-0257-0 (Abruf am 4. August 2019).

Tiemann, Michael (2016a): Polarisierung von Tätigkeiten in der Wirtschaft 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Fachkräftebedarf in der digitalisierten Arbeit von morgen, Kurzexpertise im Auftrag des BMBF, o.O., https://www.bibb.de/dokumente/pdf/AB22_Polar_Polarisierungsthese-Frey_V2.1.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Tiemann, Michael (2016b): Routine bei der Arbeit, Eine Untersuchung zur Entwicklung von Routineinhalten auf Basis der Erwerbstätigenbefragungen seit 1979, In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis 45, H. 2, S. 18–22, https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/7957 (Abruf am 4. August 2019).

Tiemann, Michael (2019): AW: HBS-Digitalisierung: Ihre Berechnungen zu Ersetzungspotenzialen, E-Mail vom 6. Juni 2019.

Tiemann, Michael/Schade, Hans-Joachim/Helmrich, Robert/Hall, Anja/Braun, Uta/Bott, Peter (2008): Berufsfeld-Definitionen des BIBB, auf Basis der Klassifikation der Berufe 1992, Bundesinstitut für Berufsbildung, Wissenschaftliche Diskussionspapiere, H. 105, Zweite Fassung, Bonn, https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/download/2080 (Abruf am 4. August 2019).

U.S. Bureau of Labor Statistics (2010): 2010 SOC User Guide, o.O., https://www.bls.gov/soc/soc_2010_user_guide.pdf (Abruf am 4. August 2019).

United Nations (2002): International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Revision 3.1, New York, https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ/Download/In%20Text/Isic31_English.pdf (Abruf am 4. August 2019).

United Nations (2008): International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Revision 4, New York, https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ/Download/In%20Text/ISIC_Rev_4_publication_English.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Vogler-Ludwig, Kurt (2017): Beschäftigungseffekte der Digitalisierung – eine Klarstellung, Wirtschaftsdienst 97, H. 12, S. 861–870, https://archiv.wirtschaftsdienst.eu/downloads/getfile.php?id=3868 (Abruf am 4. August 2019).

Vogler-Ludwig, Kurt/Düll, Nicola/Kriechel, Ben (2016): Arbeitsmarkt 2030 – Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter, Prognose 2016, Economix Research & Consulting im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, Bielefeld, https://economix.org/a55ets/publications/1900-2018/ERC_Arbeitsmarkt_2030_Prognose_2016.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Warning, Anna, und Enzo Weber (2017): Digitalisierung verändert die betriebliche Personalpolitik, IAB-Kurzbericht 12/2017, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2017/kb1217.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Warning, Anna/Weber, Enzo (2018): Digitalisation, hiring and personnel policy: evidence from a representative business survey, IAB-Discussion Paper 10/2018, Nürnberg, http://doku.iab.de/discussionpapers/2018/dp1018.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Wolter, Marc Ingo/Mönnig, Anke/Hummel, Markus/Schneemann, Christian/Weber, Enzo/Zika, Gerd/Helmrich, Robert/Maier, Tobias/Neuber-Pohl, Caroline (2015): Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie, Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen, IAB-Forschungsbericht 8/2015, Nürnberg, http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb0815.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Wolter, Marc Ingo/Mönnig, Anke/Hummel, Markus/Weber, Enzo/Zika, Gerd/Helmrich, Robert/Maier, Tobias/Neuber-Pohl, Caroline (2016): Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie, Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen, IAB-Forschungsbericht 13/2016, Nürnberg, http://doku.iab.de/forschungsbericht/2016/fb1316.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Wolter, Marc Ingo/Mönnig, Anke/Schneemann, Christian/Weber, Enzo/Zika, Gerd/Helmrich, Robert/Maier, Tobias/Winnige, Stefan (2018): Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie, Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen, o.O., https://www.bibb.de/dokumente/pdf/qube_welle5_W4.0_final.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Zika, Gerd/Helmrich, Robert/Maier, Tobias/Weber, Enzo/Wolter, Marc Ingo (2018): Arbeitsmarkteffekte der Digitalisierung bis 2035: Regionale Branchenstruktur spielt eine wichtige Rolle, IAB-Kurzbericht 9/2018, Nürnberg, http://doku.iab.de/kurzber/2018/kb0918.pdf (Abruf am 4. August 2019).

Zika, Gerd, Christian Schneemann, Michael Kalinowski, Tobias Maier, Stefan Winnige, Anett Grossman, Anke Mönnig, Frederik Parton und Marc Ingo Wolter (2019a): BMAS-Prognose „Digitalisierte Arbeitswelt“, Kurzbericht, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Bundesinstitut für Berufsbildung und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Forschungsbericht, Nr. 526/1K, o.O., https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/fb526-1k-bmas-prognose-digitalisierte-arbeitswelt.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Abruf am 4. August 2019).

Zika, Gerd/Schneemann, Christian/Kalinowski, Michael/Maier, Tobias/Winnige, Stefan/Grossman, Anett/Mönnig, Anke/Parton, Frederik/Wolter, Marc Ingo (2019b): Methodische Erläuterungen zur BMAS-Prognose „Digitalisierte Arbeitswelt“, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Bundesinstitut für Berufsbildung und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Forschungsbericht, Nr. 526/1M, o.O., https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/fb526-1m-methodische-erlaeuterungen-zur-bmas-prognose-digitalisierte-arbeitswelt.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Abruf am 4. August 2019).

Anhang A: Berufs- und Branchenklassifikationen

Tabelle 9: Berufsklassifikationen

Anzahl Stellen	Ebene	Anzahl Klassen
Standard Occupational Classification (SOC) 2010 (USA)		
2	major group	23
3	minor group	97
5	broad occupation	461
6	detailed occupation	840
International Standard Classification of Occupations (ISCO) 2008 (ISCO-08) der Internationalen Arbeitsorganisation		
1	*major group*	10
2	*sub-major group*	43
3	*minor group*	130
4	*unit group*	436
Klassifikation der Berufe (KldB) 2010 der Bundesagentur für Arbeit		
1	Berufsbereich	10
2	Berufshauptgruppe	37
3	Berufsgruppe	144
4	Berufsuntergruppe	700
5	Berufsgattung	1.286
–	Berufssektor	5
–	Berufssegment	14
BIBB-Berufsfelddefinition 2008		
–	Berufsoberfeld	3
–	Berufshauptfeld	12
2	Berufsfeld	54

Anmerkung: KldB 2010: Die Berufsgattung unterscheidet die Berufsuntergruppen anhand von vier Anforderungsniveaus: Helfer/innen (keine berufliche Ausbildung erforderlich oder eine geregelte einjährige Berufsausbildung), Fachkräfte (mindestens zweijährige Berufsausbildung oder berufsqualifizierender Abschluss einer Berufsfach- oder Kollegschule), Spezialist/inn/en (Meister- oder Technikerausbildung bzw. gleichwertiger Fachschul- oder Bachelorabschluss) und Expert/inn/en (mindestens vierjähriges abgeschlossenes Hochschulstudium).
Quelle: U.S. Bureau of Labor Statistics 2010; International Labour Organization 2012; Paulus/Matthes 2013; Matthes/Meinken/Neuhauser 2015; Tiemann 2008; Rohrbach-Schmidt/Hall 2013.

Tabelle 10: Branchenklassifikationen

Kennung	Gliederungsebene		Anzahl Klassen		
			ISIC (Vereinte Nationen)	**NACE (Europäische Union)**	**WZ (Deutschland)**
			Rev. 4 (2008)	Rev. 2 (2008)	2008
1 Buchstabe	Abschnitt	*section*	21	21	21
2 Ziffern	Abteilung	*devision*	88	88	88
3 Ziffern	Gruppe	*group*	238	272	272
4 Ziffern	Klasse	*class*	419	615	615
5 Ziffern	Unterklasse	–	–	–	839
			Rev. 3.1 (2002)	Rev. 1.1 (2002)	2003
1 Buchstabe	Abschnitt	*section*	17	17	17
2 Buchstaben	Unterabschnitt	*subsection*	–	31	31
2 Ziffern	Abteilung	*devision*	62	62	60
3 Ziffern	Gruppe	*group*	161	224	222
4 Ziffern	Klasse	*class*	298	515	513
5 Ziffern	Unterklasse	–	–	–	1.041

Anmerkung: Abschnitte und Abteilungen sind in allen drei Klassifikationen jeweils identisch (Ausnahme: WZ 2003 hinsichtlich der Abteilungen); Gruppen und Klassen der NACE Rev. 2 und der WZ 2008 sind jeweils identisch; Gruppen und Klassen der NACE und der WZ lassen sich zu ihren Pendants der ISIC aggregieren.
Quelle: United Nations 2002; 2008; Eurostat 2008; Statistisches Bundesamt 2003, S. 12f; 2008, S. 17f.

Anhang B: Schätzungen zur Automatisierungswahrscheinlichkeit

Tabelle 11: ZEW- und OECD-Schätzungen zum Einfluss beruflicher Tätigkeiten auf die Automatisierungswahrscheinlichkeit

Kategorie (OECD)	PIAAC 2011/12/2014/15		BIBB/BAuA 2005/06/2011/12		Einfluss			
	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	ZEW		OECD	
					BGZ	AGZ		
					PIAAC			BIBB
Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten	F_Q06c	mit Händen oder Fingern geschickt oder genau arbeiten	–	–	(0)	⊕	⊕	
	–	–	F411_13	sehr schnell arbeiten				⊕
	–	–	F600_07B (2012); F600_07 (2006)	in gebückter, hockender, kniender oder liegender Stellung arbeiten, Arbeiten über Kopf				⊖
kreativ-intelligente Tätigkeiten	F_Q05a	relativ einfache Problemen lösen (maximal 5 Minuten für eine gute Lösung)	–	–	⊖	⊖	(+)	
	F_Q05b	kompliziertere Probleme lösen (mindestens 30 Minuten nachdenken für eine gute Lösung)	–	–	⊖	⊖	–	
	–	–	F411_05	Verfahren verbessern oder Neues ausprobieren				(–)
	–	–	F311	Entwickeln, Forschen, Konstruieren				⊖

Kategorie (OECD)	PIAAC 2011/12/2014/15		BIBB/BAuA 2005/06/2011/12		Einfluss			
	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	ZEW		OECD	
					BGZ	AGZ		
					PIAAC			BIBB
kreativ-intelligente Tätigkeiten	–	–	F327_03 (2012); F325_05 (2006)	eigene Wissenslücken erkennen und schließen				+
sozial-intelligente Tätigkeiten	F_Q02b	Personen einzeln oder in Gruppen schulen oder unterrichten	F312	Ausbilden, Lehren, Unterrichten, Erziehen	⊖	⊖	⊖	(–)
	F_Q02e	Personen beraten	F314	Beraten und Informieren	(0)	(+)	⊖	–
	F_Q03b	Arbeitsplanung für andere erstellen	F310	Organisieren, Planen und Vorbereiten von Arbeitsprozessen anderer	⊖	⊖	⊖	k.A.
	F_Q02a	arbeitsbezogene Informationen mit Kollegen austauschen	F327_06 (2012); F325_07 (2006)	2012: mit anderen Personen beruflich kommunizieren 2006: Kontakt zu Kunden, Klienten oder Patienten	⊕	⊕	⊕	⊕
	F_Q04b	verhandeln mit anderen Personen innerhalb oder außerhalb der Firma oder des Betriebs	F327_05 (2012); F325_03 (2006)	andere überzeugen und Kompromisse aushandeln	(0)	(0)	(+)	⊖
	F_Q04a	andere überzeugen oder auf sie einwirken			⊖	⊖	⊖	

Kategorie (OECD)	PIAAC 2011/12/2014/15		BIBB/BAuA 2005/06/2011/12		Einfluss			
	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	ZEW		OECD	
					BGZ	AGZ		
					PIAAC			BIBB
sozial-intelligente Tätigkeiten	F_Q02d	Verkauf eines Produkts oder einer Dienstleistung	–	–	⊕	⊕	⊕	
	–	–	F327_02 (2012); F325_04 (2006)	eigenständig (2006: und ohne Anleitung) schwierige Entscheidungen treffen				⊖
	–	–	F327_04 (2012); F325_09 (2006)	2012: Verantwortung für andere Personen 2006: besondere Verantwortung für das Wohlbefinden anderer Menschen, z. B. für Patienten, Kinder, Kunden, Mitarbeiter				⊖
	–	–	F316	Pflegen, Betreuen, Heilen				⊖
sonstige	F_Q01b	mit Kollegen zusammenarbeiten (Zeitanteil)	–	–	(0)	(–)		
	F_Q02c	Präsentationen oder Ansprachen vor fünf oder mehr Personen	–	–	⊖	⊖		
	F_Q03a	Arbeitsplanung für eigenen Tätigkeiten erstellen	–	–	⊖	⊖		
	F_Q03c	eigene Zeiteinteilung	–	–	⊖	⊖		

Kategorie (OECD)	PIAAC 2011/12/2014/15		BIBB/BAuA 2005/06/2011/12		Einfluss			
	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	ZEW		OECD	
					BGZ	AGZ		
					PIAAC			BIBB
sonstige	F_Q06b	über längere Zeit hinweg körperlich arbeiten	–	–	⊖	⊖		
	G_Q01a	Anleitungen oder Anweisungen lesen	–	–	⊖	⊖		
	G_Q01d	Artikel in Fachzeitschriften oder wissenschaftliche Veröffentlichungen gelesen	–	–	⊖	⊖		
	G_Q01e	Bücher lesen	–	–	⊖	⊖		
	G_Q01f	Handbücher oder Nachschlagewerke lesen	–	–	(0)	(0)		
	G_Q02b	Artikel für Zeitungen, Zeitschriften oder Newsletter schreiben	–	–	⊖	⊖		
	G_Q02d	Formulare ausfüllen	–	–	⊖	⊖		
	G_Q03c	Brüche, Dezimal- oder Prozentangaben verwenden oder berechnen	–	–	⊖	⊖		
	G_Q03h	höhere Mathematik oder Statistik verwenden, wie z. B. Analysis, komplexe Algebra, Trigonometrie oder Regressionsanalysen	–	–	⊖	⊖		

Kategorie (OECD)	PIAAC 2011/12/2014/15		BIBB/BAuA 2005/06/2011/12		Einfluss			
	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	Nr. der Frage	Berufliche Tätigkeit (Häufigkeit)	ZEW		OECD	
					BGZ	AGZ		
					PIAAC			BIBB
sonstige	G_Q05c	Internet nutzen, um arbeitsbezogene Sachverhalte oder Themen besser zu verstehen	–	–	⊖	⊖		
	G_Q05g	eine Programmiersprache nutzen, um zu programmieren oder um Computercode zu schreiben	–	–	⊖	⊖		
	G_Q05h	Teilnahme an Echtzeitdiskussionen im Internet, z. B. an Onlinekonferenzen oder Chatgruppen	–	–	⊖	⊖		

Anmerkung: Dargestellt sind die Ergebnisse ökonometrischer Schätzungen des Einflusses der Häufigkeit der Ausübung der angegebenen beruflichen Tätigkeit auf die Wahrscheinlichkeit, dass der ausgeübte Beruf künftig vollständig automatisierbar sein wird; ZEW: Datengrundlage ist die PIAAC-Erhebung 2011/12 für die USA; OECD/PIAAC: Datengrundlage ist die PIAAC-Erhebung 2011/12 für Kanada; OECD/BIBB: Datengrundlage sind die beiden BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen 2005/2006 und 2011/2012; BGZ: Bonin/Gregory/Zierhan (2015); AGZ: Arntz/Gregory/Zierahn (2016); Einfluss: ⊕/⊖: statistisch gesicherter positiver bzw. negativer Zusammenhang mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit weniger als 1 Prozent (BGZ: Irrtumswahrscheinlichkeit nicht angegeben); +/-: statistisch gesicherter positiver bzw. negativer Zusammenhang mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 Prozent; (+)/(-): statistisch gesicherter positiver bzw. negativer Zusammenhang mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 10 Prozent; (0): kein statistisch gesicherter Zusammenhang.

Quelle: Bonin/Gregory/Zierhan 2015, S. 42, 44; Arntz/Gregory/Zierahn 2016, S. 29, 31; Nedelkoska/Quintini 2018, S. 43f, 96f; Erhebungsinstrumente der PIAAC-Erhebung 2011/12 und der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen 2005/2006 und 2011/2012.

Anhang C: Substitutionspotenzial nach Berufen Wirtschaftszweigen

Tabelle 12: IAB-Substituierbarkeitspotenzial 2013 und Anteil der Beschäftigten mit einem hohen BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial 2018 nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
11	Land-, Tier-, Forstwirtschaftsberufe	25,7 %	36,1 %	43,2 %	34,1 %	28,1 %	22,8 %
12	Gartenbauberufe, Floristik	33,4 %	36,9 %	42,5 %	36,2 %	32,3 %	16,7 %
21	Rohstoffgewinnung und -aufbereit., Glas- und Keramikherst. und -verarb.	31,5 %	77,2 %	74,0 %	80,5 %	66,2 %	18,4 %
22	Kunststoffherstellung und -verarbeitung, Holzbe- und -verarbeitung	34,2 %	72,8 %	73,2 %	73,5 %	58,8 %	52,5 %
23	Papier- und Druckberufe, technische Mediengestaltung	25,5 %	64,1 %	82,5 %	74,9 %	35,0 %	27,2 %
24	Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe	29,0 %	78,8 %	78,5 %	80,1 %	62,6 %	41,0 %
25	Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe	23,7 %	65,6 %	74,7 %	68,3 %	56,2 %	34,3 %
26	Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe	22,7 %	76,3 %	57,9 %	81,5 %	73,0 %	60,9 %
27	Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, und Produktionssteuerungsberufe	20,6 %	51,8 %	–	66,8 %	51,7 %	38,9 %
28	Textil- und Lederberufe	34,8 %	72,8 %	75,9 %	75,1 %	53,8 %	43,9 %
29	Lebensmittelherstellung und -verarbeitung	39,8 %	42,7 %	32,3 %	49,3 %	48,7 %	40,2 %
31	Bauplanung, Architektur, Vermessungsberufe	25,1 %	29,8 %	–	52,3 %	43,8 %	21,0 %
32	Hoch- und Tiefbauberufe	25,6 %	7,6 %	10,0 %	4,6 %	24,8 %	9,2 %
33	(Innen-) Ausbauberufe	21,3 %	27,9 %	18,8 %	29,1 %	26,7 %	–

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
34	Gebäude- und versorgungstechnische Berufe	21,8 %	57,5 %	44,9 %	58,4 %	60,2 %	55,0 %
41	Mathematik-, Biologie-, Chemie-, Physikberufe	31,4 %	70,9 %	83,3 %	85,6 %	60,9 %	22,2 %
42	Geologie-, Geografie-, Umweltschutzberufe	28,0 %	25,9 %	–	35,1 %	27,0 %	18,7 %
43	Informatik- und andere IKT-Berufe	9,3 %	29,1 %	–	27,6 %	37,4 %	15,8 %
51	Verkehr, Logistik (außer Fahrzeugführung)	57,9 %	45,7 %	60,9 %	31,6 %	25,4 %	22,1 %
52	Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten	60,9 %	24,3 %	83,3 %	20,2 %	45,2 %	40,7 %
53	Schutz-, Sicherheits-, Überwachungsberufe	32,5 %	11,1 %	28,4 %	6,3 %	19,3 %	13,4 %
54	Reinigungsberufe	70,7 %	21,9 %	25,0 %	11,5 %	18,3 %	–
61	Einkaufs-, Vertriebs- und Handelsberufe	28,7 %	28,3 %	–	42,8 %	15,8 %	26,5 %
62	Verkaufsberufe	47,8 %	40,0 %	47,7 %	40,8 %	20,2 %	22,2 %
63	Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufe	40,5 %	19,4 %	17,5 %	19,2 %	26,8 %	24,3 %
71	Berufe in Unternehmensführung und -organisation	32,7 %	49,2 %	61,3 %	58,5 %	27,0 %	19,6 %
72	Berufe in Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung	30,2 %	53,6 %	–	54,3 %	59,4 %	38,7 %
73	Berufe in Recht und Verwaltung	35,4 %	33,9 %	k.A.	38,0 %	22,9 %	18,2 %
81	Medizinische Gesundheitsberufe	19,4 %	26,9 %	19,5 %	36,4 %	9,8 %	7,2 %
82	Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperpflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik	23,5 %	8,6 %	11,1 %	6,3 %	22,9 %	20,5 %
83	Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie	11,8 %	8,2 %	13,0 %	7,3 %	14,4 %	5,1 %

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
84	Lehrende und ausbildende Berufe	1,0 %	1,0 %	–	0,0 %	1,0 %	1,0 %
91	Sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe	28,0 %	2,9 %	11,1 %	14,3 %	2,7 %	2,4 %
92	Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe	28,6 %	14,9 %	–	24,9 %	8,0 %	4,5 %
93	Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau	26,1 %	27,4 %	–	33,9 %	19,4 %	12,8 %
94	Darstellende, unterhaltende Berufe	22,3 %	27,8 %	–	45,1 %	41,9 %	7,0 %
01	Angehörige der regulären Streitkräfte	22,5 %	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	insgesamt	30 %	40 %	46,0 %	45,4 %	33,4 %	18,8 %

Anmerkung: Dargestellt sind der Anteil der Beschäftigten mit einem hohen Index zum Ersetzungspotenzial 2018 (BIBB) (insgesamt definitionsgemäß 30 %) und das Substituierbarkeitspotenzial 2013 (IAB); Berufshauptgruppen und Anforderungsniveaus entsprechend der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010 (vgl. Tabelle 9 in Anhang A): 1: Helferberufe, 2: Fachkräfte, 3: Spezialist/inn/en, 4: Expert/inn/en. Quelle: BIBB: Lewalder et al. 2018, S. 19; IAB: Dengler/Matthes 2015a, S. 27–31 und 2015b, S. 4; Rentmeister et al. 2017; Dengler 2019b (bislang unveröffentlichte Differenzierung nach Berufshauptgruppen).

Tabelle 13: IAB-Substituierbarkeitspotenzial 2013 und BIBB-Index zum Ersetzungspotenzial 2018 nach Berufsgruppen und Anforderungsniveau

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
111	Landwirtschaft	0,111	48,7 %	50,0 %	56,8 %	34,5 %	22,8 %
112	Tierwirtschaft	0,343	32,5 %	26,7 %	35,8 %	16,9 %	25,0 %
113	Pferdewirtschaft	k.A.	16,9 %	–	17,7 %	6,1 %	23,6 %
114	Fischwirtschaft	k.A.	29,9 %	30,0 %	29,6 %	29,0 %	50,0 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
115	Tierpflege	k.A.	5,8 %	15,4 %	2,7 %	12,5 %	16,7 %
116	Weinbau	k.A.	28,4 %	–	22,2 %	53,7 %	27,1 %
117	Forst- und Jagdwirtschaft, Landschaftspflege	0,744	21,5 %	21,1 %	19,5 %	26,0 %	22,8 %
121	Gartenbau	0,148	43,0 %	42,5 %	46,1 %	33,5 %	16,6 %
122	Floristik	k.A.	3,4 %	–	3,1 %	14,4 %	22,2 %
211	Berg-, Tagebau und Sprengtechnik	k.A.	67,4 %	78,9 %	72,2 %	65,8 %	18,4 %
212	Naturstein- und Mineralaufbereitung und -verarbeitung und Baustoffherstellung	k.A.	73,7 %	66,7 %	75,7 %	64,0 %	–
213	Industrielle Glasherstellung und -verarbeitung	k.A.	86,8 %	72,2 %	91,6 %	68,0 %	–
214	Industrielle Keramikherstellung und -verarbeitung	k.A.	87,2 %	83,3 %	93,3 %	72,6 %	–
221	Kunststoff- und Kautschukherstellung und -verarbeitung	0,537	87,0 %	77,8 %	94,2 %	71,7 %	54,1 %
222	Farb- und Lacktechnik	0,756	72,7 %	65,0 %	74,4 %	63,0 %	45,5 %
223	Holzbe- und -verarbeitung	0,336	58,2 %	63,2 %	57,7 %	50,7 %	51,0 %
231	Papier- und Verpackungstechnik	–0,074	75,9 %	78,9 %	76,7 %	57,1 %	48,1 %
232	Technische Mediengestaltung	–0,201	38,6 %	–	58,0 %	30,2 %	25,4 %
233	Fototechnik und Fotografie	k.A.	48,4 %	–	48,3 %	50,4 %	k.A.
234	Drucktechnik und –weiterverarbeitung, Buchbinderei	0,903	87,6 %	85,0 %	89,6 %	81,2 %	51,3 %
241	Metallerzeugung	0,573	93,4 %	80,0 %	96,1 %	72,8 %	55,8 %
242	Metallbearbeitung	0,371	80,5 %	78,9 %	82,9 %	62,8 %	46,7 %
243	Metalloberflächenbehandlung	k.A.	87,3 %	73,3 %	93,9 %	65,2 %	66,7 %
244	Metallbau und Schweißtechnik	0,117	71,0 %	76,5 %	71,2 %	58,3 %	28,5 %
245	Feinwerk- und Werkzeugtechnik	0,057	79,6 %	84,2 %	80,4 %	68,4 %	51,9 %
251	Maschinenbau- und Betriebstechnik	0,327	68,3 %	78,8 %	71,1 %	56,6 %	33,6 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
252	Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik	0,117	59,2 %	52,9 %	62,2 %	55,3 %	35,6 %
261	Mechatronik und Automatisierungstechnik	–0,086	82,0 %	–	87,4 %	71,4 %	56,7 %
262	Energietechnik	0,056	75,2 %	–	74,9 %	82,2 %	66,7 %
263	Elektrotechnik	–0,013	76,2 %	57,9 %	93,0 %	70,8 %	60,7 %
271	Technische Forschung und Entwicklung	–0,480	47,0 %	–	60,0 %	62,4 %	43,2 %
272	Technisches Zeichnen, Konstruktion und Modellbau	0,038	68,1 %	–	64,8 %	78,3 %	37,6 %
273	Technische Produktionsplanung und -steuerung	–0,066	46,8 %	–	68,3 %	38,9 %	33,6 %
281	Textiltechnik und -produktion	k.A.	72,1 %	76,5 %	72,0 %	66,6 %	42,6 %
282	Textilverarbeitung	0,278	70,8 %	70,0 %	74,7 %	46,6 %	44,8 %
283	Leder-, Pelzherstellung und -verarbeitung	k.A.	80,1 %	78,9 %	82,8 %	65,2 %	67,4 %
291	Getränkeherstellung	k.A.	80,6 %	–	87,0 %	56,3 %	29,6 %
292	Lebensmittel- und Genussmittelherstellung	0,392	69,0 %	78,9 %	66,3 %	54,8 %	29,4 %
293	Speisenzubereitung	0,077	24,1 %	13,3 %	32,8 %	33,5 %	41,7 %
311	Bauplanung und -überwachung, Architektur	0,090	25,4 %	–	50,6 %	41,1 %	19,3 %
312	Vermessung und Kartografie	0,347	54,1 %	–	53,2 %	58,7 %	52,1 %
321	Hochbau	0,088	7,3 %	10,0 %	4,1 %	25,1 %	7,7 %
322	Tiefbau	0,356	8,4 %	10,0 %	5,8 %	23,8 %	11,7 %
331	Bodenverlegung	0,535	33,4 %	20,0 %	35,0 %	32,9 %	–
332	Maler- und Lackierer-, Stukkateurarbeiten, Bauwerksabdichtung, Holz- und Bautenschutz	0,141	30,7 %	27,8 %	31,0 %	32,5 %	–
333	Aus- und Trockenbau, Isolierung, Zimmerei, Glaserei, Rollladen- und Jalousiebau	0,083	23,0 %	10,5 %	24,9 %	20,7 %	–
341	Gebäudetechnik	0,217	58,9 %	–	58,2 %	73,3 %	54,5 %
342	Klempnerei, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik	–0,094	56,8 %	47,4 %	57,6 %	52,5 %	54,5 %
343	Ver- und Entsorgung	0,532	56,1 %	44,4 %	60,7 %	57,8 %	55,5 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
411	Mathematik und Statistik	–0,459	6,3 %	–	–	k.A.	6,3 %
412	Biologie	–0,204	35,8 %	–	52,5 %	34,1 %	11,1 %
413	Chemie	0,169	80,1 %	83,3 %	91,2 %	62,9 %	27,2 %
414	Physik	0,248	55,7 %	–	76,0 %	61,8 %	32,2 %
421	Geologie, Geografie und Meteorologie	k.A.	13,4 %	–	33,3 %	15,4 %	13,1 %
422	Umweltschutztechnik	k.A.	27,9 %	–	23,1 %	29,2 %	41,7 %
423	Umweltmanagement und -beratung	0,139	31,9 %	–	100,0 %	26,9 %	14,4 %
431	Informatik	–0,533	28,9 %	–	28,9 %	33,6 %	12,5 %
432	IT-Systemanalyse, IT-Anwendungsberatung und IT-Vertrieb	–0,630	34,1 %	–	–	47,1 %	17,2 %
433	IT-Netzwerktechnik, IT-Koordination, IT-Administration und IT-Organisation	–0,391	40,6 %	–	–	44,5 %	17,5 %
434	Softwareentwicklung und Programmierung	–0,480	15,1 %	–	20,1 %	13,1 %	15,4 %
511	Technischer Betrieb des Eisenbahn-, Luft- und Schiffsverkehrs	k.A.	53,7 %	–	50,0 %	54,1 %	88,2 %
512	Überwachung und Wartung der Verkehrsinfrastruktur	0,760	8,7 %	–	6,7 %	39,0 %	30,7 %
513	Lagerwirtschaft, Post und Zustellung, Güterumschlag	0,912	49,5 %	60,9 %	31,8 %	18,5 %	20,0 %
514	Servicekräfte im Personenverkehr	0,667	17,7 %	–	18,0 %	10,8 %	–
515	Überwachung und Steuerung des Verkehrsbetriebs	0,335	22,1 %	–	27,2 %	20,0 %	12,1 %
516	Kaufleute – Verkehr und Logistik	0,374	35,3 %	–	40,2 %	27,8 %	21,5 %
521	Fahrzeugführung im Straßenverkehr	0,935	21,0 %	–	21,0 %	–	–
522	Fahrzeugführung im Eisenbahnverkehr	0,923	0,0 %	–	0,0 %	–	–
523	Fahrzeugführung im Flugverkehr	k.A.	47,3 %	–	–	50,0 %	41,1 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
524	Fahrzeugführung im Schiffsverkehr	k.A.	37,5 %	–	32,3 %	39,5 %	39,6 %
525	Bau- und Transportgeräteführung	0,637	45,8 %	83,3 %	18,0 %	42,2 %	–
531	Objekt-, Personen-, Brandschutz, Arbeitssicherheit	0,517	10,0 %	28,7 %	5,1 %	16,2 %	13,7 %
532	Polizeivollzugs- und Kriminaldienst, Gerichts- und Justizvollzug	0,265	23,7 %	14,3 %	28,5 %	22,7 %	0,3 %
533	Gewerbe- und Gesundheitsaufsicht, Desinfektion	0,351	30,8 %	–	28,5 %	34,3 %	10,0 %
541	Reinigung	1,040	21,9 %	25,0 %	11,5 %	18,3 %	–
611	Einkauf und Vertrieb	0,195	24,9 %	–	44,7 %	13,0 %	26,4 %
612	Handel	0,026	38,0 %	–	41,1 %	21,5 %	25,6 %
613	Immobilienwirtschaft und Facility-Management	0,176	38,9 %	–	37,5 %	40,3 %	31,6 %
621	Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	0,604	41,8 %	50,0 %	43,5 %	20,2 %	22,2 %
622	Verkauf von Bekleidung, Elektronik, Kraftfahrzeugen und Hartwaren	0,659	42,0 %	–	42,0 %	–	–
623	Verkauf von Lebensmitteln	0,700	30,7 %	33,3 %	30,6 %	–	–
624	Verkauf von drogerie- und apothekenüblichen Waren, Sanitäts- und Medizinbedarf	0,458	41,5 %	–	41,5 %	–	–
625	Buch-, Kunst-, Antiquitäten- und Musikfachhandel	k.A.	30,2 %	–	30,2 %	30,0 %	25,0 %
631	Tourismus und Sport	–0,179	29,3 %	–	30,5 %	12,8 %	20,0 %
632	Hotellerie	–0,058	20,6 %	23,5 %	18,3 %	31,9 %	12,3 %
633	Gastronomie	0,774	16,9 %	15,0 %	16,0 %	29,7 %	32,8 %
634	Veranstaltungsservice und -management	–0,461	21,1 %	6,3 %	38,7 %	16,1 %	11,1 %
711	Geschäftsführung und Vorstand	–0,498	27,5 %	–	–	–	27,5 %
712	Angehörige gesetzgebender Körperschaften und leitende Bedienstete von Interessenorganisationen	–0,388	7,5 %	–	–	–	7,5 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
713	Unternehmensorganisation und -strategie	–0,053	42,1 %	–	57,8 %	20,1 %	19,8 %
714	Büro und Sekretariat	0,558	58,8 %	61,3 %	59,3 %	46,4 %	10,0 %
715	Personalwesen und -dienstleistung	0,036	26,1 %	–	48,5 %	24,8 %	6,2 %
721	Versicherungs- und Finanzdienstleistungen	0,208	43,0 %	–	48,1 %	30,7 %	12,0 %
722	Rechnungswesen, Controlling und Revision	0,310	64,9 %	–	63,6 %	70,0 %	52,7 %
723	Steuerberatung	0,290	75,6 %	–	83,3 %	55,0 %	48,8 %
731	Rechtsberatung, -sprechung und -ordnung	–0,053	41,7 %	–	63,9 %	10,9 %	17,5 %
732	Verwaltung	0,387	30,4 %	k.A.	32,7 %	24,3 %	7,2 %
733	Medien-, Dokumentations- und Informationsdienste	0,244	56,4 %	–	67,9 %	62,5 %	39,2 %
811	Arzt- und Praxishilfe	0,426	49,0 %	–	51,1 %	26,2 %	–
812	Medizinisches Laboratorium	0,236	53,4 %	–	54,3 %	61,9 %	33,2 %
813	Gesundheits- und Krankenpflege, Rettungsdienst und Geburtshilfe	0,087	20,2 %	19,5 %	20,8 %	17,4 %	18,3 %
814	Human- und Zahnmedizin	–0,324	1,0 %	–	–	–	1,0 %
815	Tiermedizin und Tierheilkunde	–0,367	0,0 %	–	0,0 %	–	0,0 %
816	Psychologie und Psychotherapie	–0,699	3,1 %	–	–	50,0 %	2,4 %
817	Nicht ärztliche Therapie und Heilkunde	–0,450	4,0 %	–	21,9 %	0,1 %	0,6 %
818	Pharmazie	0,172	45,5 %	–	64,6 %	0,0 %	36,0 %
821	Altenpflege	0,240	5,0 %	10,8 %	0,0 %	0,0 %	22,2 %
822	Ernährungs- und Gesundheitsberatung, Wellness	–0,095	11,7 %	–	14,5 %	9,1 %	15,8 %
823	Körperpflege	0,105	1,7 %	22,2 %	0,9 %	4,5 %	–
824	Bestattungswesen	k.A.	14,8 %	–	12,5 %	31,2 %	k.A.
825	Medizin-, Orthopädie- und Rehatechnik	–0,052	32,9 %	–	31,0 %	43,6 %	25,8 %
831	Erziehung, Sozialarbeit, Heilerziehungspflege	–0,647	5,2 %	0,0 %	5,6 %	9,2 %	4,9 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
832	Hauswirtschaft und Verbraucherberatung	0,778	24,6 %	27,2 %	16,3 %	41,8 %	–
833	Theologie und Gemeindearbeit	–0,585	25,5 %	–	44,0 %	9,4 %	10,6 %
841	Lehrtätigkeit an allgemeinbildenden Schulen	–1,115	0,2 %	–	–	0,0 %	0,2 %
842	Lehrtätigkeit für berufsbildende Fächer, betriebliche Ausbildung und Betriebspädagogik	–1,076	4,8 %	–	–	2,2 %	6,9 %
843	Lehr- und Forschungstätigkeit an Hochschulen	–0,982	0,0 %	–	–	–	0,0 %
844	Lehrtätigkeit an außerschulischen Bildungseinrichtungen	–0,996	1,3 %	–	0,0 %	0,0 %	1,4 %
845	Fahr- und Sportunterricht an außerschulischen Bildungseinrichtungen	–0,868	0,1 %	–	–	0,1 %	0,0 %
911	Sprach- und Literaturwissenschaften	k.A.	3,9 %	–	–	–	3,9 %
912	Geisteswissenschaften	k.A.	2,2 %	–	–	16,7 %	1,5 %
913	Gesellschaftswissenschaften	–0,340	0,8 %	11,1 %	14,3 %	0,0 %	0,0 %
914	Wirtschaftswissenschaften	k.A.	15,2 %	–	–	–	15,2 %
921	Werbung und Marketing	0,049	13,4 %	–	23,6 %	3,5 %	7,2 %
922	Öffentlichkeitsarbeit	–0,299	5,3 %	–	–	6,4 %	0,0 %
923	Verlags- und Medienwirtschaft	–0,353	29,9 %	–	31,2 %	37,2 %	17,6 %
924	Redaktion und Journalismus	–0,100	18,6 %	–	32,1 %	23,2 %	0,0 %
931	Produkt- und Industriedesign	k.A.	4,3 %	–	0,0 %	10,0 %	5,0 %
932	Innenarchitektur, visuelles Marketing, Raumausstattung	k.A.	14,5 %	–	11,8 %	17,5 %	23,8 %
933	Kunsthandwerk und bildende Kunst	–0,695	24,0 %	–	58,9 %	11,6 %	12,7 %
934	Kunsthandwerkliche Keramik- und Glasgestaltung	k.A.	72,6 %	–	79,0 %	35,0 %	–

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	BIBB	IAB				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
935	Kunsthandwerkliche Metallgestaltung	k.A.	59,5 %	–	62,2 %	35,0 %	14,3 %
936	Musikinstrumentenbau	k.A.	21,1 %	–	20,3 %	33,0 %	36,4 %
941	Musik-, Gesangs- und Dirigententätigkeiten	–0,597	0,3 %	–	–	60,0 %	0,0 %
942	Schauspiel, Tanz und Bewegungskunst	k.A.	0,0 %	–	0,0 %	0,0 %	0,0 %
943	Moderation und Unterhaltung	k.A.	11,3 %	–	16,7 %	0,0 %	0,0 %
944	Theater-, Film- und Fernsehproduktion	–0,361	19,6 %	–	40,5 %	9,6 %	7,9 %
945	Veranstaltungs-, Kamera- und Tontechnik	–0,110	65,7 %	–	62,9 %	67,4 %	65,7 %
946	Bühnen- und Kostümbildnerei, Requisite	k.A.	26,2 %	–	21,8 %	36,7 %	9,2 %
947	Museumstechnik und -management	k.A.	27,3 %	–	42,9 %	k.A.	23,7 %
01	Angehörige der regulären Streitkräfte (Berufshauptgruppe)	–0,007	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	insgesamt	–0,001	40 %	46,0 %	45,4 %	33,4 %	18,8 %

Anmerkung: Dargestellt sind der Anteil der Beschäftigten mit einem hohen Index zum Ersetzungspotenzial 2018 (BIBB) (insgesamt definitionsgemäß 30 %) und das Substituierbarkeitspotenzial 2013 (IAB); Berufsgruppen und Anforderungsniveaus entsprechend der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010 (vgl. Tabelle 9 in Anhang A):
1: Helferberufe, 2: Fachkräfte, 3: Spezialist/inn/en, 4: Expert/inn/en.
Quelle: BIBB: Lewalder et al. 2018, S. 9; Tiemann 2019 (nach Berufsgruppen); IAB: Dengler/Matthes 2015a; 2015b, S. 4; Rentmeister et al. 2017, Dengler 2019b (bislang unveröffentlichte Differenzierungen nach Berufsgruppen sowie kombiniert nach Berufsgruppen und Anforderungsniveau).

Tabelle 14: Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex des Bundesinstituts für Berufsbildung nach Wirtschaftszweigen 2015 bis 2018

Wirtschaftszweig	Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex				
	2015	2016	2017	2018	Änd.
1. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	0,78	0,33	0,56	0,52	–/+/–
2. Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	2,28	0,25	–0,36	–0,38	–
3. Energie- und Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen	1,35	0,03	0,59	0,60	–/+
4. Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln	0,22	0,44	0,07	0,05	+/–
5. Herstellung von Textilien, Bekleidung, Lederwaren und Schuhen	1,16	–0,53	–0,36	–0,33	–/+
6. Herstellung von Holzwaren, Papier, Pappe und Druckerzeugnissen	0,45	0,14	–0,17	–0,17	–/+
7. Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen, Kokerei und Mineralölverarbeitung	0,16	–0,48	–0,19	–0,19	–/+/–
8. Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	–0,20	0,40	–0,50	–0,53	+/–
9. Herstellung von Glas und Keramik; Verarbeitung von Steinen und Erden	0,14	–0,26	0,05	0,06	–/+
10. Metallerzeugung und -bearbeitung	0,43	1,04	–0,16	–0,25	+/–
11. Herstellung von Metallerzeugnissen, Stahl- und Leichtmetallbau	0,58	0,35	0,23	0,27	–/+
12. Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	–0,22	–0,52	–0,41	–0,43	–/+/–
13. Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	0,28	–0,69	–0,12	–0,04	–/+
14. Maschinenbau	0,07	–0,32	0,09	0,13	–/+
15. Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, sonstiger Fahrzeugbau	0,40	0,28	–0,16	–0,18	–
16. Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren (z. B. Schmuck, Sportgeräte, Spielwaren, medizinische Apparate/Materialien)	–0,30	0,11	–0,04	–0,03	+/–/+
17. Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	–0,21	–0,71	–0,78	–0,74	–/+
18. Hoch- und Tiefbau	–0,23	0,15	–0,03	–0,01	+/–/+

Wirtschaftszweig	Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex				
	2015	2016	2017	2018	Änd.
19. Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation, sonstiges Ausbaugewerbe	k.A.	0,07	–0,29	–0,31	x/–
20. Kraftfahrzeughandel und -reparatur	0,21	–0,12	0,10	0,13	–/+
21. Großhandel und Handelsvermittlung	–0,50	–0,08	–0,66	–0,64	+/–/+
22. Einzelhandel, Tankstellen	–0,03	0,17	–0,31	–0,29	+/–/+
23. Verkehr und Lagerei auch Parkhäuser, Bahnhöfe, Frachtumschlag, Post-, Kurier- und Expressdienste	0,67	0,66	–0,11	–0,15	–
24. Information und Kommunikation Verlagswesen; Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen; Rundfunkveranstalter; Telekommunikation und Informationsdienstleistungen	–1,02	–0,40	–0,80	–0,77	+/–/+
25. Beherbergung und Gastronomie	0,60	0,62	–0,49	–0,55	+/–
26. Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	–0,74	–0,15	–0,49	–0,48	+/–/+
27. Grundstücks- und Wohnungswesen	–0,75	0,14	–0,68	–0,71	+/–
28. Rechts- und Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung	–0,39	–0,05	–0,16	–0,18	+/–
29. Verwaltung und Führung von Unternehmen und Betrieben; Unternehmensberatung	k.A.	–0,28	0,12	0,19	x/+
30. Architektur- und Ingenieurbüros; technische, physikalische und chemische Untersuchung	–0,38	–0,12	0,02	0,05	+
31. Forschung und Entwicklung	0,22	–0,27	0,84	0,81	–/+/–
32. Werbung und Marktforschung, Design, Fotografie, Übersetzung	–1,19	–0,67	–0,69	–0,73	+/–
33. Veterinärwesen	–0,04	–0,14	–1,12	–1,03	–/+
34. Vermietung von beweglichen Sachen	0,11	0,11	–0,73	–0,76	–
35. Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	1,13	0,81	0,43	0,45	–/+
36. Reisegewerbe, Wach- und Sicherheitsdienste, Garten- und Landschaftsbau, sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen	0,73	0,26	–0,27	–0,26	–/+
37. Erziehung und Unterricht	–0,33	–0,47	–0,68	–0,68	–/+
38. Krankenhäuser und Kliniken	–0,33	–0,54	–0,15	–0,12	–/+
39. Arztpraxen, Krankengymnastik-, Heilpraktikerpraxen	k.A.	–0,24	–0,36	–0,36	x/–
40. Heime, ambulante soziale Dienste	–0,64	–0,65	–0,74	–0,73	–/+

Wirtschaftszweig	Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex				
	2015	2016	2017	2018	Änd.
41. Kunst, Unterhaltung, Erholung, Sport, Lotterie	–0,69	0,31	–0,50	–0,48	+/–/+
42. Reparatur von Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern	–1,60	–0,44	k.A.	k.A.	+/x
43. Sonstige, überwiegend persönliche Dienstleistungen (z. B. Wäscherei, Friseur, Sauna)	–0,35	–0,46	–0,49	–0,47	–/+
44. Interessenvertretungen, Verbände, kirchliche und sonstige religiöse Vereinigungen	0,29	0,09	–0,11	–0,15	–
45. Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	0,59	0,16	0,45	0,47	–/+

Anmerkung: Änd. = Änderung des Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex im Zeitverlauf von 2015 bis 2018.
Quelle: Helmrich et al. 2016, S. 68; Lewalder et al. 2018, S. 13; eigene Berechnungen.

Anhang D: Projektionen nach Berufen

Tabelle 15: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau bis 2030

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Econ.	BIBB/IAB/GWS				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
11	Land-, Tier-, Forstwirtschaftsberufe	–1,2 %	+1,1 %	+1,6 %	+1,1 %	+0,5 %	+1,4 %
12	Gartenbauberufe, Floristik	–0,2 %	+1,3 %	+1,1 %	+1,4 %	+1,1 %	+1,4 %
21	Rohstoffgewinnung und -aufbereit., Glas- und Keramikherst. und -verarb.	–3,3 %	+2,2 %	–0,1 %	+1,9 %	+4,5 %	+8,3 %
22	Kunststoffherstellung und -verarbeitung, Holzbe- und -verarbeitung	–1,2 %	–1,2 %	–1,8 %	–1,1 %	–0,9 %	–1,7 %
23	Papier- und Druckberufe, technische Mediengestaltung	+1,0 %	+1,2 %	–3,0 %	–1,2 %	+4,6 %	+4,2 %
24	Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe	–1,7 %	–1,0 %	–1,3 %	–0,9 %	–0,7 %	–1,2 %
25	Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe	+3,1 %	–0,3 %	–0,4 %	–0,3 %	–0,0 %	–0,4 %
26	Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe	+4,8 %	+1,8 %	+2,2 %	+1,8 %	+1,8 %	+1,9 %
27	Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, und Produktionssteuerungsberufe	+4,5 %	+2,1 %	-	+1,1 %	+1,5 %	+3,2 %
28	Textil- und Lederberufe	-3,2 %	+2,6 %	+2,1 %	+2,6 %	+2,7 %	+3,0 %
29	Lebensmittelherstellung und -verarbeitung	-1,3 %	+1,3 %	+1,3 %	+1,3 %	+1,4 %	+1,6 %
31	Bauplanung, Architektur, Vermessungsberufe	+0,2 %	+1,4 %	–	–1,9 %	+1,4 %	+1,8 %
32	Hoch- und Tiefbauberufe	–0,7 %	–0,1 %	+0,3 %	–0,0 %	–0,1 %	–1,2 %
33	(Innen-) Ausbauberufe	–0,2 %	+0,9 %	+0,4 %	+0,8 %	+1,5 %	–

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Econ.	BIBB/IAB/GWS				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
34	Gebäude- und versorgungstechnische Berufe	+1,9 %	+1,8 %	–0,5 %	+1,8 %	+2,6 %	–0,4 %
41	Mathematik-, Biologie-, Chemie-, Physikberufe	+1,5 %	–1,2 %	–0,9 %	–1,2 %	–1,2 %	–1,3 %
42	Geologie-, Geografie-, Umweltschutzberufe	+6,3 %	+0,8 %	–	+1,7 %	+1,2 %	–0,2 %
43	Informatik- und andere IKT-Berufe	+12,8 %	+10,8 %	–	+9,4 %	+10,0 %	+12,2 %
51	Verkehr, Logistik (außer Fahrzeugführung)	–2,3 %	–4,2 %	–4,3 %	–4,7 %	–0,6 %	–2,7 %
52	Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten	–2,5 %	–6,1 %	–4,9 %	–6,3 %	–1,4 %	–0,2 %
53	Schutz-, Sicherheits-, Überwachungsberufe	–0,6 %	–1,0 %	–1,0 %	–1,0 %	–1,1 %	–0,8 %
54	Reinigungsberufe	–4,1 %	–4,0 %	–4,1 %	–3,8 %	–3,3 %	–
61	Einkaufs-, Vertriebs- und Handelsberufe	+2,3 %	+1,2 %	–	+1,5 %	+1,2 %	+0,8 %
62	Verkaufsberufe	–1,2 %	–1,7 %	–1,9 %	–1,6 %	–2,4 %	–2,6 %
63	Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufe	+0,3 %	–2,7 %	–1,5 %	–3,1 %	+0,5 %	–2,8 %
71	Berufe in Unternehmensführung und -organisation	+1,4 %	+0,5 %	–1,4 %	–0,6 %	+0,7 %	+3,7 %
72	Berufe in Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung	+1,4 %	–0,1 %	–	+0,1 %	–0,4 %	–0,2 %
73	Berufe in Recht und Verwaltung	–0,2 %	–1,5 %	–1,2 %	–1,8 %	–2,1 %	–0,1 %
81	Medizinische Gesundheitsberufe	–1,2 %	–0,0 %	–0,1 %	–0,2 %	+0,7 %	–0,0 %
82	Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperpflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik	–0,4 %	+1,4 %	+0,4 %	+1,5 %	+2,2 %	+0,7 %
83	Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie	–0,7 %	–0,3 %	–1,4 %	–0,5 %	–0,6 %	+0,9 %
84	Lehrende und ausbildende Berufe	+2,9 %	+1,1 %	–	+4,9 %	+2,2 %	+0,9 %

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Econ.	BIBB/IAB/GWS				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
91	Sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe	+3,5 %	–0,1 %	+0,2 %	k.A.	k.A.	–0,1 %
92	Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe	+7,3 %	+3,5 %	–	+4,0 %	+3,3 %	+3,5 %
93	Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau	+2,2 %	+4,4 %	–	+2,8 %	+5,8 %	+5,2 %
94	Darstellende, unterhaltende Berufe	+4,4 %	+2,2 %	–	+3,2 %	+3,0 %	+1,4 %
01	Angehörige der regulären Streitkräfte	–1,1 %	+0,5 %	k.A.	+0,9 %	–2,9 %	–2,8 %
	insgesamt	+0,6 %	–0,2 %	–2,3 %	–0,8 %	+1,4 %	+1,6 %

Anmerkung: Econ = Economix; dargestellt ist die relative Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch eine beschleunigte Digitalisierung (BIBB/IAB/GWS: Szenario „Wirtschaft 4.0“) im Vergleich zum Basisszenario in Relation zur Zahl der Erwerbstätigen im Jahr 2014 (Economix) bzw. 2015 (BIBB/IAB/GWS) bis zum Jahr 2030; Berufshauptgruppen und Anforderungsniveaus entsprechend der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010 (vgl. Tabelle 9 in Anhang A): 1: Helferberufe, 2: Fachkräfte,
3: Spezialist/inn/en, 4: Expert/inn/en; k.A.: weniger als 1.000 Erwerbstätige im Basisszenario oder im Szenario „Wirtschaft 4.0“.
Quelle: Economix: Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016, S. 198–200; eigene Berechnungen; BIBB/IAB/GWS: Maier et al. 2018, http://www.qube-data.de, Kalinowski 2019 (bislang unveröffentlichte kombinierte Differenzierung nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau), eigene Berechnungen.

Tabelle 16: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der Economix-Projektion bis 2030 und der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion bis 2035 nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Econ.	BIBB/IAB/GWS				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
11	Land-, Tier-, Forstwirtschaftsberufe	–1,2 %	+1,0 %	+1,5 %	+0,9 %	+0,3 %	+1,3 %
12	Gartenbauberufe, Floristik	–0,2 %	+1,3 %	+1,1 %	+1,4 %	+1,1 %	+1,4 %
21	Rohstoffgewinnung und -aufbereit., Glas- und Keramikherst. und -verarb.	–3,3 %	+1,9 %	–0,0 %	+1,7 %	+3,9 %	+7,1 %
22	Kunststoffherstellung und -verarbeitung, Holzbe- und -verarbeitung	–1,2 %	–1,1 %	–1,6 %	–1,0 %	–0,8 %	–1,5 %
23	Papier- und Druckberufe, technische Mediengestaltung	+1,0 %	+1,1 %	–2,7 %	–1,2 %	+4,3 %	+3,9 %
24	Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe	–1,7 %	–0,9 %	–1,1 %	–0,9 %	–0,6 %	–1,1 %
25	Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe	+3,1 %	–0,2 %	–0,3 %	–0,3 %	–0,0 %	–0,3 %
26	Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe	+4,8 %	+1,6 %	+2,0 %	+1,6 %	+1,6 %	+1,7 %
27	Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions-, und Produktionssteuerungsberufe	+4,5 %	+1,9 %	–	+1,0 %	+1,4 %	+3,1 %
28	Textil- und Lederberufe	–3,2 %	+2,1 %	+1,5 %	+2,2 %	+2,3 %	+2,4 %
29	Lebensmittelherstellung und -verarbeitung	–1,3 %	+1,2 %	+1,3 %	+1,1 %	+1,1 %	+1,6 %
31	Bauplanung, Architektur, Vermessungsberufe	+0,2 %	+1,3 %	–	–1,7 %	+1,3 %	+1,7 %
32	Hoch- und Tiefbauberufe	–0,7 %	–0,1 %	+0,2 %	–0,1 %	–0,2 %	–1,2 %
33	(Innen-) Ausbauberufe	–0,2 %	+0,9 %	+0,4 %	+0,8 %	+1,5 %	–
34	Gebäude- und versorgungstechnische Berufe	+1,9 %	+1,7 %	–0,3 %	+1,7 %	+2,5 %	–0,4 %
41	Mathematik-, Biologie-, Chemie-, Physikberufe	+1,5 %	–1,4 %	–1,0 %	–1,5 %	–1,3 %	–1,5 %

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Econ.	BIBB/IAB/GWS				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
42	Geologie-, Geografie-, Umweltschutzberufe	+6,3 %	+0,8 %	–	+1,5 %	+1,2 %	–0,2 %
43	Informatik- und andere IKT-Berufe	+12,8 %	+10,6 %	–	+9,1 %	+9,7 %	+12,0 %
51	Verkehr, Logistik (außer Fahrzeugführung)	–2,3 %	–4,1 %	–4,1 %	–4,6 %	–0,6 %	–2,7 %
52	Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten	–2,5 %	–6,0 %	–4,5 %	–6,2 %	–1,2 %	–0,2 %
53	Schutz-, Sicherheits-, Überwachungsberufe	–0,6 %	–1,1 %	–1,2 %	–1,1 %	–1,1 %	–0,8 %
54	Reinigungsberufe	–4,1 %	–4,1 %	–4,1 %	–3,8 %	–3,3 %	–
61	Einkaufs-, Vertriebs- und Handelsberufe	+2,3 %	+1,1 %	–	+1,4 %	+1,0 %	+0,7 %
62	Verkaufsberufe	–1,2 %	–1,7 %	–1,9 %	–1,7 %	–2,4 %	–2,8 %
63	Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufe	+0,3 %	–2,7 %	–1,5 %	–3,1 %	+0,5 %	–2,8 %
71	Berufe in Unternehmensführung und -organisation	+1,4 %	+0,4 %	–1,4 %	–0,7 %	+0,6 %	+3,6 %
72	Berufe in Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung	+1,4 %	–0,2 %	–	+0,1 %	–0,4 %	–0,3 %
73	Berufe in Recht und Verwaltung	–0,2 %	–1,9 %	–1,3 %	–2,1 %	–2,5 %	–0,5 %
81	Medizinische Gesundheitsberufe	–1,2 %	–0,1 %	–0,1 %	–0,3 %	+0,6 %	–0,3 %
82	Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperpflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik	–0,4 %	+1,5 %	+0,4 %	+1,6 %	+2,4 %	+0,6 %
83	Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie	–0,7 %	–0,3 %	–1,4 %	–0,5 %	–0,6 %	+0,8 %
84	Lehrende und ausbildende Berufe	+2,9 %	+0,6 %	–	+2,2 %	+1,0 %	+0,5 %
91	Sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe	+3,5 %	–1,3 %	–0,1 %	k.A.	k.A.	–1,3 %

Nr.	Berufshauptgruppe (KldB 2010)	Econ.	BIBB/IAB/GWS				
			Anforderungsniveau (KldB 2010)				
		insg.	insg.	1	2	3	4
92	Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe	+7,3 %	+3,3 %	–	+3,7 %	+3,1 %	+3,3 %
93	Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau	+2,2 %	+4,1 %	–	+2,6 %	+5,5 %	+5,0 %
94	Darstellende, unterhaltende Berufe	+4,4 %	+1,8 %	–	+2,9 %	+2,7 %	+1,0 %
01	Angehörige der regulären Streitkräfte	–1,1 %	+0,3 %	k.A.	+0,7 %	–2,8 %	–2,8 %
	insgesamt	+0,6 %	–0,3 %	–2,2 %	–0,9 %	+1,2 %	+1,4 %

Anmerkung: Econ: Economix; dargestellt ist die relative Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch eine beschleunigte Digitalisierung (BIBB/IAB/GWS: Szenario „Wirtschaft 4.0“) im Vergleich zum Basisszenario in Relation zur Zahl der Erwerbstätigen im Jahr 2014 (Economix) bzw. 2015 (BIBB/IAB/GWS) bis zum Jahr 2030 (Economix) bzw. 2035 (BIBB/IAB/GWS); Berufshauptgruppen und Anforderungsniveaus entsprechend der Klassifikation der Berufe, Ausgabe 2010 (vgl. Tabelle 9 in Anhang A):
1: Helferberufe, 2: Fachkräfte, 3: Spezialist/inn/en, 4: Expert/inn/en; k.A.: weniger als 1.000 Erwerbstätige im Basisszenario oder im Szenario „Wirtschaft 4.0“.
Quelle: Economix: Vogler-Ludwig/Düll/Kriechel 2016, S. 198–200; eigene Berechnungen; BIBB/IAB/GWS: Maier et al. 2018, http://www.qube-data.de, Kalinowski 2019 (bislang unveröffentlichte kombinierte Differenzierung nach Berufshauptgruppen und Anforderungsniveau), eigene Berechnungen.

Tabelle 17: Auswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit nach der BIBB-IAB-Berufsfeldprojektion nach Berufsgruppen bis 2035

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	Erwerbstätige	Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch „Wirtschaft 4.0“			
		2015	2020	2025	2030	2035
111	Landwirtschaft	414.400	+0,4 %	+1,3 %	+2,1 %	+2,0 %
112	Tierwirtschaft	29.200	–0,3 %	–1,7 %	–2,7 %	–3,1 %
113	Pferdewirtschaft	21.100	+0,0 %	–0,5 %	–1,4 %	–1,4 %
114	Fischwirtschaft	4.600	+2,2 %	+2,2 %	+0,0 %	+2,2 %
115	Tierpflege	35.800	+0,0 %	–0,3 %	–0,8 %	–0,8 %
116	Weinbau	16.600	–0,6 %	–2,4 %	–3,6 %	–3,6 %
117	Forst- und Jagdwirtschaft, Landschaftspflege	57.800	+0,0 %	–0,2 %	–0,5 %	–0,5 %
121	Gartenbau	338.800	+0,4 %	+0,8 %	+1,2 %	+1,2 %
122	Floristik	59.300	+0,5 %	+1,2 %	+1,7 %	+1,7 %
211	Berg-, Tagebau und Sprengtechnik	32.200	+1,9 %	+5,9 %	+9,0 %	+7,5 %
212	Naturstein- und Mineralaufbereitung und -verarbeitung und Baustoffherstellung	62.100	+0,3 %	+0,8 %	+1,1 %	+1,0 %
213	Industrielle Glasherstellung und -verarbeitung	36.900	+0,0 %	–0,3 %	–0,3 %	–0,5 %
214	Industrielle Keramikherstellung und -verarbeitung	13.800	+0,0 %	–0,7 %	–1,4 %	–1,4 %
221	Kunststoff- und Kautschukherstellung und -verarbeitung	262.400	–0,3 %	–1,3 %	–1,9 %	–1,6 %
222	Farb- und Lacktechnik	77.500	–0,1 %	–1,0 %	–1,7 %	–1,5 %
223	Holzbe- und -verarbeitung	308.300	+0,2 %	–0,2 %	–0,6 %	–0,6 %
231	Papier- und Verpackungstechnik	75.300	–0,1 %	–0,5 %	–0,8 %	–0,8 %
232	Technische Mediengestaltung	201.800	+1,2 %	+3,5 %	+5,5 %	+5,1 %
233	Fototechnik und Fotografie	34.000	+0,6 %	+1,5 %	+1,8 %	+1,5 %
234	Drucktechnik und –weiterverarbeitung, Buchbinderei	108.000	–1,0 %	–3,6 %	–5,6 %	–5,2 %
241	Metallerzeugung	108.800	–0,6 %	–2,5 %	–3,8 %	–3,2 %
242	Metallbearbeitung	724.300	–0,2 %	–0,9 %	–1,4 %	–1,2 %
243	Metalloberflächenbehandlung	49.300	+0,0 %	–0,4 %	–0,6 %	–0,6 %
244	Metallbau und Schweißtechnik	428.500	+0,2 %	–0,1 %	–0,3 %	–0,4 %
245	Feinwerk- und Werkzeugtechnik	165.500	+0,4 %	+0,7 %	+1,1 %	+1,0 %
251	Maschinenbau- und Betriebstechnik	1.348.900	–0,1 %	–0,5 %	–0,8 %	–0,6 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	Erwerbstätige	Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch „Wirtschaft 4.0“			
		2015	2020	2025	2030	2035
252	Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik	607.000	+0,2 %	+0,4 %	+0,7 %	+0,6 %
261	Mechatronik und Automatisierungstechnik	110.700	+0,3 %	+0,1 %	+0,1 %	+0,0 %
262	Energietechnik	496.800	+0,7 %	+1,3 %	+1,8 %	+1,6 %
263	Elektrotechnik	566.100	+0,7 %	+1,5 %	+2,2 %	+2,0 %
271	Technische Forschung und Entwicklung	269.000	+1,1 %	+3,0 %	+5,0 %	+4,7 %
272	Technisches Zeichnen, Konstruktion und Modellbau	259.500	+0,3 %	+0,4 %	+0,5 %	+0,4 %
273	Technische Produktionsplanung und -steuerung	629.100	+0,4 %	+0,9 %	+1,5 %	+1,4 %
281	Textiltechnik und -produktion	50.800	+0,8 %	+2,2 %	+3,1 %	+2,4 %
282	Textilverarbeitung	106.500	+0,7 %	+1,7 %	+2,5 %	+2,2 %
283	Leder-, Pelzherstellung und -verarbeitung	34.100	+0,6 %	+1,8 %	+2,3 %	+1,8 %
291	Getränkeherstellung	18.100	+1,1 %	+2,8 %	+5,0 %	+3,9 %
292	Lebensmittel- und Genussmittelherstellung	397.000	+0,3 %	+0,7 %	+1,1 %	+0,7 %
293	Speisenzubereitung	661.200	+0,3 %	+0,8 %	+1,4 %	+1,4 %
311	Bauplanung und -überwachung, Architektur	326.500	+0,7 %	+1,5 %	+1,9 %	+1,8 %
312	Vermessung und Kartografie	50.300	–0,2 %	–1,0 %	–2,2 %	–2,0 %
321	Hochbau	541.100	+1,0 %	+1,2 %	+0,9 %	+0,8 %
322	Tiefbau	150.100	–0,1 %	–1,7 %	–3,7 %	–3,5 %
331	Bodenverlegung	99.700	+0,3 %	–0,7 %	–2,2 %	–2,1 %
332	Maler- und Lackierer-, Stuckateurarbeiten, Bauwerksabdichtung, Holz- und Bautenschutz	242.400	+1,3 %	+2,3 %	+2,7 %	+2,6 %
333	Aus- und Trockenbau, Isolierung, Zimmerei, Glaserei, Rollladen- und Jalousiebau	242.300	+0,7 %	+0,7 %	+0,3 %	+0,3 %
341	Gebäudetechnik	506.900	+0,4 %	+0,6 %	+0,8 %	+0,7 %
342	Klempnerei, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik	300.400	+1,8 %	+4,1 %	+5,7 %	+5,5 %
343	Ver- und Entsorgung	197.400	–0,2 %	–0,9 %	–1,7 %	–1,6 %
411	Mathematik und Statistik	12.300	+0,8 %	+0,0 %	–0,8 %	–0,8 %
412	Biologie	55.500	+0,0 %	–0,5 %	–2,0 %	–2,7 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	Erwerbs-tätige	Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch „Wirtschaft 4.0“			
		2015	2020	2025	2030	2035
413	Chemie	319.000	+0,0 %	–0,5 %	–1,0 %	–1,2 %
414	Physik	51.500	+0,2 %	–0,6 %	–1,6 %	–1,7 %
421	Geologie, Geografie und Meteorologie	15.000	+0,7 %	–0,7 %	–1,3 %	–2,0 %
422	Umweltschutztechnik	28.800	+0,3 %	+1,0 %	+1,7 %	+1,0 %
423	Umweltmanagement und -beratung	21.800	+0,5 %	+1,4 %	+1,4 %	+1,4 %
431	Informatik	260.000	+2,0 %	+5,4 %	+8,6 %	+8,2 %
432	IT-Systemanalyse, IT-Anwendungsberatung und IT-Vertrieb	188.800	+2,7 %	+7,8 %	+13,0 %	+13,1 %
433	IT-Netzwerktechnik, IT-Koordination, IT-Administration und IT-Organisation	172.300	+2,0 %	+6,0 %	+10,0 %	+9,9 %
434	Softwareentwicklung und Programmierung	224.800	+2,7 %	+7,5 %	+12,2 %	+11,7 %
511	Technischer Betrieb des Eisenbahn-, Luft- und Schiffsverkehrs	26.400	+0,8 %	+1,5 %	+2,7 %	+2,7 %
512	Überwachung und Wartung der Verkehrsinfrastruktur	45.300	–1,3 %	–5,7 %	–9,5 %	–9,5 %
513	Lagerwirtschaft, Post und Zustellung, Güterumschlag	2.087.700	–0,7 %	–2,8 %	–4,8 %	–4,7 %
514	Servicekräfte im Personenverkehr	63.300	+0,0 %	–0,2 %	–0,3 %	–0,3 %
515	Überwachung und Steuerung des Verkehrsbetriebs	71.000	+0,6 %	+1,5 %	+2,4 %	+2,4 %
516	Kaufleute – Verkehr und Logistik	218.000	–0,1 %	–1,1 %	–1,9 %	–1,8 %
521	Fahrzeugführung im Straßenverkehr	1.176.800	–1,0 %	–3,7 %	–6,6 %	–6,5 %
522	Fahrzeugführung im Eisenbahnverkehr	36.400	–0,3 %	–1,6 %	–3,6 %	–3,8 %
523	Fahrzeugführung im Flugverkehr	11.900	+0,0 %	–0,8 %	–1,7 %	–0,8 %
524	Fahrzeugführung im Schiffsverkehr	11.000	+0,0 %	+0,0 %	+0,0 %	+0,0 %
525	Bau- und Transportgeräteführung	157.600	–0,5 %	–2,6 %	–4,4 %	–3,9 %
531	Objekt-, Personen-, Brandschutz, Arbeitssicherheit	443.000	+0,0 %	–0,4 %	–0,9 %	–1,1 %
532	Polizeivollzugs- und Kriminaldienst, Gerichts-und Justizvollzug	298.300	–0,1 %	–0,6 %	–1,2 %	–1,2 %
533	Gewerbe- und Gesundheitsaufsicht, Desinfektion	18.500	+0,0 %	+0,5 %	+0,0 %	+0,5 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	Erwerbs-tätige	Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch „Wirtschaft 4.0“			
		2015	2020	2025	2030	2035
541	Reinigung	1.609.900	–0,5 %	–2,2 %	–4,0 %	–4,1 %
611	Einkauf und Vertrieb	820.100	+0,3 %	+0,5 %	+0,7 %	+0,6 %
612	Handel	225.100	+0,5 %	+1,2 %	+1,9 %	+1,7 %
613	Immobilienwirtschaft und Facility-Management	155.100	+0,7 %	+1,9 %	+3,2 %	+2,8 %
621	Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	1.816.300	–0,3 %	–1,3 %	–2,5 %	–2,5 %
622	Verkauf von Bekleidung, Elektronik, Kraftfahrzeugen und Hartwaren	585.700	–0,1 %	–0,5 %	–1,0 %	–1,0 %
623	Verkauf von Lebensmitteln	496.700	–0,2 %	–0,8 %	–1,3 %	–1,3 %
624	Verkauf von drogerie- und apothekenüblichen Waren, Sanitäts- und Medizinbedarf	118.800	+0,8 %	+2,3 %	+3,6 %	+3,3 %
625	Buch-, Kunst-, Antiquitäten- und Musikfachhandel	28.600	+0,7 %	+2,1 %	+3,1 %	+3,1 %
631	Tourismus und Sport	118.800	–0,2 %	–1,3 %	–2,3 %	–2,1 %
632	Hotellerie	227.500	+0,4 %	+1,2 %	+2,1 %	+2,1 %
633	Gastronomie	976.000	–0,6 %	–2,4 %	–4,1 %	–4,1 %
634	Veranstaltungsservice und -management	53.700	+0,4 %	+1,1 %	+1,5 %	+1,5 %
711	Geschäftsführung und Vorstand	556.200	+1,2 %	+3,4 %	+5,5 %	+5,3 %
712	Angehörige gesetzgebender Körperschaften und leitende Bedienstete von Interessenorganisationen	37.400	+1,3 %	+4,0 %	+6,1 %	+6,1 %
713	Unternehmensorganisation und -strategie	1.757.600	+0,6 %	+1,4 %	+2,1 %	+2,1 %
714	Büro und Sekretariat	2.740.900	+0,0 %	–0,8 %	–1,7 %	–1,7 %
715	Personalwesen und -dienstleistung	233.400	+0,6 %	+1,3 %	+1,8 %	+1,5 %
721	Versicherungs- und Finanzdienstleistungen	951.600	+0,1 %	+0,1 %	–0,0 %	+0,0 %
722	Rechnungswesen, Controlling und Revision	517.700	+0,1 %	–0,3 %	–0,6 %	–0,7 %
723	Steuerberatung	242.900	+0,7 %	+0,7 %	+0,7 %	+0,3 %
731	Rechtsberatung, -sprechung und -ordnung	328.900	+0,7 %	+1,0 %	+1,2 %	+0,8 %
732	Verwaltung	1.337.500	–0,0 %	–1,0 %	–2,1 %	–2,5 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	Erwerbstätige	Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch „Wirtschaft 4.0“			
		2015	2020	2025	2030	2035
733	Medien-, Dokumentations- und Informationsdienste	70.000	+0,1 %	–1,1 %	–2,6 %	–2,7 %
811	Arzt- und Praxishilfe	730.700	–0,2 %	–0,4 %	–0,7 %	–0,7 %
812	Medizinisches Laboratorium	109.200	+0,0 %	–0,5 %	–1,0 %	–1,2 %
813	Gesundheits- und Krankenpflege, Rettungsdienst und Geburtshilfe	1.121.000	+0,0 %	+0,0 %	–0,1 %	–0,1 %
814	Human- und Zahnmedizin	443.500	+0,1 %	–0,3 %	–0,8 %	–1,1 %
815	Tiermedizin und Tierheilkunde	30.400	+0,3 %	+0,3 %	+0,3 %	+0,0 %
816	Psychologie und Psychotherapie	82.800	+0,6 %	+1,4 %	+2,5 %	+2,5 %
817	Nicht ärztliche Therapie und Heilkunde	379.600	+0,3 %	+0,8 %	+1,4 %	+1,3 %
818	Pharmazie	173.300	+0,4 %	+1,2 %	+1,7 %	+1,4 %
821	Altenpflege	582.700	+0,1 %	+0,2 %	+0,4 %	+0,4 %
822	Ernährungs- und Gesundheitsberatung, Wellness	30.300	+0,0 %	+0,0 %	+0,0 %	–0,3 %
823	Körperpflege	349.900	+0,2 %	+1,8 %	+2,8 %	+3,2 %
824	Bestattungswesen	22.000	+0,0 %	+1,8 %	+2,7 %	+3,6 %
825	Medizin-, Orthopädie- und Rehatechnik	154.200	+0,5 %	+1,3 %	+2,0 %	+1,8 %
831	Erziehung, Sozialarbeit, Heilerziehungspflege	1.512.100	+0,2 %	+0,6 %	+0,8 %	+0,8 %
832	Hauswirtschaft und Verbraucherberatung	267.700	–1,1 %	–4,3 %	–7,1 %	–6,9 %
833	Theologie und Gemeindearbeit	75.900	+0,5 %	+1,3 %	+2,1 %	+2,0 %
841	Lehrtätigkeit an allgemeinbildenden Schulen	813.000	+0,0 %	+0,0 %	+0,0 %	+0,0 %
842	Lehrtätigkeit für berufsbildende Fächer, betriebliche Ausbildung und Betriebspädagogik	201.700	+0,3 %	+1,0 %	+1,7 %	+1,6 %
843	Lehr- und Forschungstätigkeit an Hochschulen	328.300	+0,1 %	+0,3 %	+0,4 %	+0,3 %
844	Lehrtätigkeit an außerschulischen Bildungseinrichtungen	176.300	+3,2 %	+4,5 %	+4,9 %	+2,2 %
845	Fahr- und Sportunterricht an außerschulischen Bildungseinrichtungen	147.100	+2,3 %	+2,9 %	+2,8 %	+0,9 %
911	Sprach- und Literaturwissenschaften	2.400	+0,0 %	+0,0 %	–4,2 %	–8,3 %
912	Geisteswissenschaften	12.200	+0,8 %	+0,0 %	–2,5 %	–2,5 %
913	Gesellschaftswissenschaften	85.600	+1,2 %	+1,2 %	+0,7 %	–0,7 %

Nr.	Berufsgruppe (KldB 2010)	Erwerbstätige	Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch „Wirtschaft 4.0“			
		2015	2020	2025	2030	2035
914	Wirtschaftswissenschaften	11.100	+0,0 %	–1,8 %	–2,7 %	–3,6 %
921	Werbung und Marketing	478.300	+0,8 %	+2,2 %	+3,4 %	+3,2 %
922	Öffentlichkeitsarbeit	32.000	+0,9 %	+2,2 %	+3,4 %	+3,1 %
923	Verlags- und Medienwirtschaft	43.100	+0,9 %	+2,8 %	+4,6 %	+4,4 %
924	Redaktion und Journalismus	149.500	+0,7 %	+2,3 %	+3,5 %	+3,2 %
931	Produkt- und Industriedesign	20.800	+0,5 %	+1,4 %	+2,9 %	+2,9 %
932	Innenarchitektur, visuelles Marketing, Raumausstattung	57.400	+0,7 %	+1,4 %	+1,6 %	+1,4 %
933	Kunsthandwerk und bildende Kunst	60.700	+1,8 %	+5,3 %	+8,7 %	+8,1 %
934	Kunsthandwerkliche Keramik- und Glasgestaltung	7.900	+0,0 %	+0,0 %	+0,0 %	+0,0 %
935	Kunsthandwerkliche Metallgestaltung	23.200	+0,4 %	+0,9 %	+1,3 %	+1,3 %
936	Musikinstrumentenbau	6.300	+1,6 %	+6,3 %	+9,5 %	+7,9 %
941	Musik-, Gesangs- und Dirigententätigkeiten	74.300	+0,5 %	+0,8 %	+1,1 %	+0,7 %
942	Schauspiel, Tanz und Bewegungskunst	41.200	+0,7 %	+1,5 %	+2,2 %	+1,9 %
943	Moderation und Unterhaltung	26.500	+0,8 %	+2,3 %	+3,4 %	+3,4 %
944	Theater-, Film- und Fernsehproduktion	35.600	+0,6 %	+1,7 %	+2,0 %	+1,7 %
945	Veranstaltungs-, Kamera- und Tontechnik	60.800	+0,7 %	+2,3 %	+3,5 %	+3,1 %
946	Bühnen- und Kostümbildnerei, Requisite	11.400	+0,9 %	+1,8 %	+3,5 %	+3,5 %
947	Museumstechnik und -management	15.900	+0,6 %	+0,0 %	–1,3 %	–1,3 %
01	Angehörige der regulären Streitkräfte (Berufshauptgruppe)	181.500	+0,2 %	+0,5 %	+0,5 %	+0,3 %
	insgesamt	43,1 Mio.	+0,2 %	–0,0 %	–0,2 %	–0,3 %

Anmerkung: Dargestellt ist die relative Änderung der Zahl der Erwerbstätigen durch eine beschleunigte Digitalisierung im Rahmen des Szenarios „Wirtschaft 4.0“ im Vergleich zum Basisszenario in Relation zur Zahl der Erwerbstätigen im Jahr 2015.
Quelle: Maier et al. 2018, http://www.qube-data.de, eigene Berechnungen.

Die vorliegende Literaturstudie gibt einen Überblick über den Forschungsstand zu den Auswirkungen der Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit in Deutschland. Thematisiert werden zunächst Automatisierungspotenziale in Branchen und von Berufen, Arbeitsplätzen und beruflichen Tätigkeiten. Anschließend wird auf die Folgen der bisherigen und der künftigen Digitalisierung auf die Erwerbstätigkeit differenziert nach Branchen und Berufen eingegangen. Dabei werden jeweils auch Datengrundlagen und Methoden vorgestellt.

ISSN 2509-2359