

Vorläufige Fassung



Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie

Marc Ingo Wolter, Anke Mönnig, Christian Schneemann, Enzo Weber,
Gerd Zika, Robert Helmrich, Tobias Maier, Stefan Winnige



Stand: 26. November 2018

Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie

Szenario-Rechnungen im Rahmen der fünften Welle der
BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen

Marc Ingo Wolter (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung - GWS)

Anke Mönnig (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung - GWS)

Christian Schneemann (Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung - IAB)

Enzo Weber (Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung - IAB)

Gerd Zika (Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung - IAB)

Robert Helmrich (Bundesinstitut für Berufsbildung - BIBB)

Tobias Maier (Bundesinstitut für Berufsbildung - BIBB)

Stefan Winnige (Bundesinstitut für Berufsbildung - BIBB)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1 Wirtschaft 4.0 führt zu vielfältigen Änderungen	7
2 Methoden und Annahmen.....	8
2.1 Methoden: Szenario-Technik und Einsatz von Modellen.....	11
2.2 Annahmen	12
3 Ergebnisse und Diskussion der Szenario-Rechnung	21
3.1 Vergleich mit der QuBe-Basisprojektion	21
3.2 Diskussion	32
4 Arbeitswelt Wirtschaft 4.0	36
5 Schlussfolgerungen	38
Anhang.....	41
Literaturverzeichnis	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Teilschritte zur Umsetzung einer Wirtschaft 4.0	13
Abbildung 2: Komponenten des Bruttoinlandsproduktes im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion	22
Abbildung 3: Primärinputs und Vorleistungen im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion	22
Abbildung 4: Entwicklung der kumulierten Gewinne der Landwirtschaft und des Produzierenden Gewerbes sowie des Dienstleistungsgewerbes im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion.....	24
Abbildung 5: Veränderung der Erwerbstätigenanzahl im Vergleich von „Wirtschaft 4.0“-Szenario und QuBe-Basisprojektion	27
Abbildung 6: Berufshauptgruppen mit den betragsmäßig größten Abweichungen an Erwerbstätigen im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion in 2035	28
Abbildung 7: Zahl der Erwerbstätigen nach Anforderungsniveaus im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion	32
Abbildung 8: Einfluss der Teilschritte (Annahmenbündel) auf das Bruttoinlandsprodukt	33
Abbildung 9: Zerlegung der Auswirkung der einzelnen Teilszenarien auf die Zahl der Erwerbstätigen	34
Abbildung 10: Nicht mehr vorhandene und neu entstandene Arbeitsplätze im Vergleich zum Jahr 2018	38

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: 20 Berufsgruppen mit der stärksten Erhöhung des Fachkräfteindikators im Vergleich (Vereinfachte Rekrutierung für Arbeitgeber)	29
Tabelle 2: 20 Berufsgruppen mit der stärksten Verringerung des Fachkräfteindikators im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion (Erschwerte Rekrutierungssituation für Arbeitnehmer)	30
Tabelle 3: Entwicklung der Verwendungsseite des Bruttoinlandsprodukts und ausgewählter Arbeitsmarktgrößen 2005-2035.....	37
Tabelle 4: Zuordnung der Wirtschaftszweige zu den Branchengruppen.	41

Zusammenfassung

Dieser Forschungsbericht zeigt die dritte modellbasierte Wirkungsabschätzung einer Wirtschaft 4.0 auf Arbeitsmarkt und die Gesamtwirtschaft in Deutschland. In Bezug zu den vorherigen Berichten (Wolter u.a. 2016, Wolter u.a. 2015) sind einige Änderungen und Aktualisierungen notwendig gewesen, um die Auswirkungen der zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung besser abbilden zu können. Um den Detailgrad zu erhöhen, werden nun anstelle von 50 BIBB-Berufsfeldern 141 Berufsgruppen nach der Klassifikation der Berufe 2010 (KldB 2010) betrachtet (Maier u.a. 2018).¹ Die Umsetzungsphase der Digitalisierung wird von 2025 um fünf Jahre auf 2030 verlängert. Die einzelnen Wirtschaftszweige wurden in sechs Branchengruppen mit unterschiedlichen Digitalisierungsgrad eingeteilt und anstelle des Automatisierbarkeitsmaßes von Dengler und Matthes (2015) wird auf ein Ersetzbarkeitsmaß des BIBB (Lewalder u.a. im Erscheinen) umgestellt.

In einer 5-stufigen Szenario-Analyse werden zunächst die Auswirkungen von erhöhten Investitionen in Ausrüstungen (1) und Bau für ein schnelles Internet (2) auf die Gesamtwirtschaft und den Arbeitsmarkt dargestellt. Darauf aufbauend modellieren wir die daraus folgenden Kosten- und Gewinnstrukturen der Unternehmen (3) und eine veränderte Nachfragestruktur nach Berufen und Qualifikationen (4). Darüber hinaus werden in einem weiteren Teil-Szenario Arbeitsmarkteffekte einer möglicherweise steigenden Nachfrage nach Gütern (5) in den Blick genommen. Die kumulativen Effekte der fünf Teil-Szenarien werden mit einem Referenz-Szenario, das keinen fortgeschrittenen Entwicklungspfad zu Wirtschaft 4.0 enthält, verglichen.

Die getroffenen Annahmen wirken zu Gunsten der ökonomischen Entwicklung. Das bedeutet aber auch, dass sich bei einer verzögerten oder gar verschleppten Umsetzung die Annahmen gegen den Wirtschaftsstandort Deutschlands wenden: Wir werden weniger exportieren und mehr „neue“ Güter im Ausland nachfragen. Im Ergebnis zeigt sich, dass eine Wirtschaft 4.0 den Strukturwandel hin zu mehr Dienstleistungen beschleunigen wird. Dabei sind Veränderungen im Charakter der Arbeitswelt zwischen Branchen, Berufen und Anforderungsniveaus weitaus größer als die Veränderung der Anzahl der Erwerbstätigen insgesamt. Mit den Umwälzungen auf dem Arbeitsmarkt geht eine zunehmende Wertschöpfung einher, die nicht nur zu mehr volkswirtschaftlichen Gewinnen, sondern – aufgrund höherer Anforderungen an die Arbeitskräfte – auch zu höheren Lohnsummen führt.

Werden sämtliche Annahmen in die Betrachtung mit einbezogen, wird eine im Jahr 2030 bzw. 2035 digitalisierte Arbeitswelt mit dem Jahr 2018 verglichen, dann zeigt sich, dass sich die beiden Arbeitswelten („Wirtschaft 4.0“ vs. „QuBe-Basisprojektion“) hinsichtlich ihrer Branchen-, Berufs- und Anforderungsstruktur deutlich voneinander

¹ Die KldB 2010 weist 144 Berufsgruppen aus. Die Angehörigen der regulären Streitkräfte werden in den Projektionsergebnissen jedoch nicht nach ihrem Rang unterschieden, sodass nur Ergebnisse für 141 Berufe ausgewiesen werden.

unterscheiden. In der digitalisierten Welt wird es im Jahr 2030 einerseits 2 542 000 Arbeitsplätze, die 2018 noch vorhanden sind, nicht mehr geben. Andererseits werden im Wirtschaft 4.0-Szenario ebenfalls 2 768 000 Arbeitsplätze entstanden sein, die heute noch nicht existieren. Zusammengefasst unterscheidet sich der Charakter der Arbeitslandschaft im „Wirtschaft 4.0“-Szenario um rund 11,7 Prozent (= 5,3 Mio. von 45,2 Mio. Arbeitsplätzen) von der Arbeitslandschaft in 2018.

1 Wirtschaft 4.0 führt zu vielfältigen Änderungen

Mit der Digitalisierung der Wirtschaft sind tiefgreifende Übergänge und Umbrüche verbunden, deren Folgen für den Arbeitsmarkt subsumiert unter dem Schlagwort Wirtschaft 4.0 kontrovers diskutiert werden. Dabei wird die Automatisierung einerseits als Chancen gesehen, die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu verbessern (z.B. BDI 2017, Bitkom 2014, Bitkom 2018, Heng 2014, Koch und Geissbauer 2014), andererseits stehen Befürchtungen im Raum, dass die Ersetzung von Tätigkeiten durch Maschinen und Algorithmen mit gravierenden Beschäftigungsverlusten einhergehen könnten. In Anlehnung an Frey und Osborne (2013) entstanden daher eine Reihe von Studien, die das Ersetzbarkeitspotenzial von Menschen nach Berufen durch maschinelle Prozesse untersuchen (z.B. Bonin u.a. 2015, Brzeski und Burk 2015, Dengler und Matthes 2015, Helmrich u.a. 2016, Pfeiffer und Suphan 2015, Tiemann 2016).²

Ein Teil der genannten Studien ermitteln zwar das Potential der Ersetzbarkeit von Berufen, sie können aber keine Aussagen darüber treffen, inwieweit dieses Potential in der Zukunft auch tatsächlich ausgeschöpft wird bzw. bereits in der näheren Vergangenheit ausgeschöpft wurde. Zudem vernachlässigen sie potentielle positive Arbeitsmarkteffekte, die durch die Umsetzung der Digitalisierung entstehen. Es können somit keine Aussagen über die zu erwartenden Arbeitsmarkeffekte, die aus beiden Wirkungskreisen resultieren, gemacht werden, welche die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt berücksichtigen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass technologische Innovationen Folgewirkungen haben. So verändern sich nicht nur der Einsatz von Kapitaltypen auf die Produktion, sondern auch die Nachfrage nach Inputfaktoren die für diesen Kapitaltyp benötigt werden. Gleichzeitig verändert sich die Wettbewerbsfähigkeit durch Technologievorteile, was Folgewirkungen auf die Gewinne und Löhne hat (vgl. (Arntz u.a. 2018).

Bei einer so vielschichtigen und allumfassenden Veränderung der Wirtschaft sind somit eine Vielzahl komplexer und ambivalenter Wirkungen zu berücksichtigen, wie etwa Einkommensentstehung und -verwendung oder Lohn- und Preisanpassungen (Weber 2016). BIBB, IAB und GWS (Wolter u.a. 2015b) greifen hierfür erstmals auf ein makro-ökonomisches Input-Output-Model (QINFORGE) mit vollständiger Integration zurück, um den zusammenhängenden, branchenübergreifenden Sachverhalt darzustellen. In einer fünfstufigen Szenarioanalyse untersuchen sie die Auswirkungen einer Transformation hin zu einer Industrie 4.0 im produzierenden Gewerbe und der Landwirtschaft. In einer Nachfolgepublikation erweitern (Wolter u.a. 2016) das Konzept auf die Wirtschaftsbereiche im Dienstleistungsbereich.

Hieran schließt sich der vorliegende Beitrag an, indem die bisherigen Annahmen von (Wolter u.a. 2016) vor dem Hintergrund neu hinzugewonnener Erkenntnisse aus Betriebsbefragungen und Literaturrecherche einer Überprüfung unterworfen werden.

² Für eine ausführliche Darstellung der Literatur zu den Auswirkungen der Digitalisierung auf Lohn- und Beschäftigungsstruktur siehe (Arntz u.a. 2018)

Dabei ergeben sich im Vergleich zu (Wolter u.a. 2016) folgende methodischen Änderungen:

- Um den fachlichen Detailgrad zu erhöhen, werden anstelle von 50 BIBB-Berufsfeldern nun 141 Berufsgruppen nach der Klassifikation der Berufe 2010 (KldB 2010) betrachtet (Maier u.a. 2018).³
- Die Umsetzungsphase der Digitalisierung wird von 2025 um fünf Jahre auf 2030 verlängert, um die erkennbaren Verzögerungen in der Umsetzung zu berücksichtigen.
- Die 63 Wirtschaftszweige des ökonometrischen Modells QINFORGE werden – aufgrund neuer Informationen von 7 000 befragten Betrieben im BIBB-Qualifizierungspanel 2016 – in sechs Branchengruppen eingeteilt. Diese Branchengruppen unterscheiden sich in ihrem bereits erfolgten Digitalisierungsgrad und Investitionsanteil in digitale Technologien. Es wird unterstellt, dass die weniger digitalisierten Branchen vergleichsweise mehr unternehmen müssen, um die Produktionsprozesse ausreichend zu digitalisieren.
- Anstelle des Automatisierbarkeitsmaßes von (Dengler und Matthes 2015) wird auf ein Ersetzbarkeitsmaß des BIBB (Lewalder u.a. im Erscheinen) umgestellt. Während Dengler/Matthes über die Tätigkeiten im Beruf erfassen, wie hoch der Tätigkeitsanteil ist, der bereits heute von Robotern und digitalen Systemen erledigt werden kann (Dengler und Matthes 2018), legt das BIBB-Ersetzbarkeitsmaß einen stärkeren Fokus auf die mögliche zukünftige Programmierbarkeit und ist in der Lage dieses Potenzial auf Berufsebene zwischen Branchen zu unterscheiden.

Um die Folgen eines Übergangs zu einer Wirtschaft 4.0 abzubilden, wird die Szenario-Technik eingesetzt. Hierbei werden für zwei Szenarien Projektionen errechnet, die für in der Zukunft liegende Zeitpunkte miteinander verglichen werden. Als Referenzszenario wird die fünfte Welle des QuBe-Projekts (Maier u.a. (2018); www.gube-projekt.de) gewählt, da sie eine einfache Interpretierbarkeit der Ergebnisse erlaubt. Das Vorgehen wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

2 Methoden und Annahmen

Die Analysen werden mit dem Modell QINFORGE durchgeführt. Bei QINFORGE handelt es sich um ein nach Wirtschaftszweigen, Produktionsbereichen und Gütergruppen tief disaggregiertes ökonometrisches Prognose- und Simulationsmodell für die Bundesrepublik Deutschland, das von der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS mbH) entwickelt worden ist (Maier u.a. 2014a, Maier u.a. 2017, Meyer u.a. 2007, Schnur und Zika 2009). Es gehört zu der Gruppe der INFORUM Modelle (Almon 1991). Seine besondere Leistungsfähigkeit beruht auf der Integration in einen internationalen Modellverbund. Das Modell beruht auf den Konstruktionsprinzipien "bottom-up" und "vollständige Integration". "Bottom-up" besagt, dass

³ Die KldB 2010 weist 144 Berufsgruppen aus. Die Angehörigen der regulären Streitkräfte werden in den Projektionsergebnissen jedoch nicht nach ihrem Rang unterschieden, sodass nur Ergebnisse für 141 Berufe ausgewiesen werden.

die einzelnen Branchen und Sektoren der Volkswirtschaft sehr detailliert modelliert werden und die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse durch Aggregation im Modellzusammenhang gebildet werden. "Vollständige Integration" steht für eine komplexe und simultane Modellierung der interindustriellen Lieferverflechtung sowie der Entstehung und Verteilung der Einkommen, der Umverteilungstätigkeit des Staates und der Einkommensverwendung der privaten Haushalte.

Das Modell QINFORGE bildet den ökonomischen Kern der Qualifikations- und Berufsprojektionen (siehe Methodenkasten 1: Das QuBe-Projekt). Die Darstellung der genannten Zusammenhänge stellt hohe Anforderungen an den Dateninput. Hierfür wird auf die Input-Output-Rechnung und die Inlandsproduktsberechnung der Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen (VGR) und die Mikrozensus des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen. Des Weiteren werden die Prozessdaten der Bundesagentur für Arbeit (BA) verwendet, um die berufsspezifischen Tageslöhne sowie die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (SVB) und der ausschließlich geringfügig Beschäftigten (AGB) zu erhalten. Die Harmonisierung der verschiedenen Datenquellen erlaubt eine Ergebnisausweisung nach 63 Wirtschaftszweigen, 141 Berufsgruppen und vier Anforderungsniveaus.

Methodenkasten 1: QuBe-Projekt

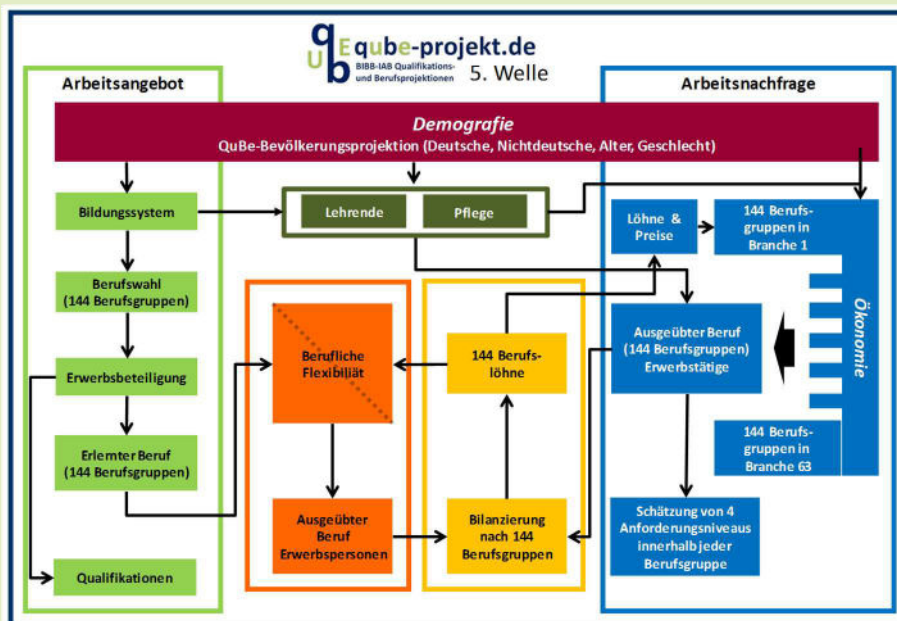
Die BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen (QuBe-Projekt), die in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) entstanden sind, zeigen anhand von Modellrechnungen, wie sich Angebot und Nachfrage nach Qualifikationen und Berufen langfristig entwickeln können. Als Datengrundlage werden mehrere Datenquellen aufeinander abgestimmt. Der Mikrozensus (letztes Erhebungsjahr 2015) liefert als amtliche Repräsentativstatistik des Statistischen Bundesamts, an der jährlich ein Prozent aller Haushalte in Deutschland beteiligt ist, Informationen über die Bevölkerung und den Arbeitsmarkt. Die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (in der vorliegenden Projektion bis zum Jahre 2016) ist Grundlage für die Projektion der Gesamtwirtschaft. Die Registerdaten der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (SVB) und der ausschließlich geringfügig Beschäftigten (AGB) der Bundesagentur für Arbeit (BA) liefern zusätzliche Informationen zu den Erwerbstätigen nach Beruf und den entsprechend gezahlten Löhnen (in der vorliegenden Projektion bis zum Jahre 2015). Die Ergebnisse werden bis zu 144 Dreistellern (Berufsgruppen) der KldB 2010 differenziert.

Das Alleinstellungsmerkmal des QuBe-Projekts liegt in der Verknüpfung des Arbeitsangebots nach einem erlernten Beruf mit der berufsspezifischen Arbeitsnachfrage durch die Verwendung beruflicher Flexibilitätsmatrizen. Hierdurch kann eine fachliche Bilanzierung des Arbeitsmarkts durch den Vergleich von Erwerbspersonen und Erwerbstätigen nach Berufsgruppen erfolgen.

Die Ergebnisse basieren auf der Basisprojektion der fünften Projektionswelle. Diese baut auf den Methoden der vorherigen Wellen auf (Helmrich und Zika 2010, Maier u.a. 2014b, Maier u.a. 2016, Zika u.a. 2012) und nimmt weitere Erneuerungen auf. Für die Ermittlung des Personalbedarfs in Pflege, Erziehung und Unterricht sind detaillierte Module („Pflege“ und „Lehrende“) entwickelt worden, die nicht nur die Nachfrage nach Arbeitskräften, sondern auch die ökonomischen Folgen für das Gesundheits- und Sozialwesen berücksichtigen. Wie das überarbeitete Haushaltsmodul, das die Anzahl der Haushalte mit deutschem und nicht deutschem Vorstand ermittelt, basieren diese Module auf der QuBe-Bevölkerungsprojektion.

Mit dem QuBe-Projekt wird in der Basisprojektion ein empiriebasiertes Konzept verfolgt: Es werden nur bislang nachweisbare Verhaltensweisen in die Zukunft projiziert. In der Vergangenheit nicht feststellbare Verhaltensänderungen sind somit nicht Teil der Basisprojektion. Dies gilt auch für die modellierten Marktanpassungsmechanismen. Die nachfolgende Abbildung gibt einen groben Überblick über die Funktionsweise des Modells.

Weitere Informationen unter www.qube-projekt.de; Ergebnisse finden sich unter www.qube-data.de



2.1 Methoden: Szenario-Technik und Einsatz von Modellen

Die Folgen eines Übergangs in eine Wirtschaft 4.0 werden mit Hilfe von Szenarien dargelegt. Bei der so genannten Szenario-Technik werden die Projektionsergebnisse zweier Szenarien verglichen. Die Unterschiede in den Ergebnissen ausgewählter Größen sind entsprechend auf die unterschiedlichen Annahmen beider Szenarien zurückzuführen (Helmrich u.a. 2013). Daraus lassen sich zwei wesentliche Anforderungen an die Modellierung ableiten: Zum einen müssen die Eingriffe überschaubar sein, um die entsprechenden Wirkungsweisen auch auf die veränderten Parameter zurückführen zu können. Zum anderen bedarf es zur Deutung des Alternativszenarios eines Referenz-Szenarios, dass eine aktuell plausible und konsistente Entwicklung der Zukunft beschreibt. Beide Szenarien beschreiben zwar mögliche zukünftige Arbeitswelten, unterscheiden sich jedoch in Bezug auf ihre Annahmen zu exogenen Größen (z. B. Bevölkerungsentwicklung oder Export) und/oder endogenen Verhaltensweisen (z. B. Produktionsweisen).

Als Referenz-Szenario dient die QuBe-Basisprojektion der fünften Welle des QuBe-Projektes, Methodenkasten 1). Ziel der QuBe-Basisprojektion ist es, in einer dynamischen Modellierung Bestände, Übergänge, Trends und Verhaltensweisen im Bildungssystem, auf dem Arbeitsmarkt und in der ökonomischen Entwicklung zu identifizieren und entweder fortzuschreiben (Trends) oder beizubehalten (Verhaltensweisen), um mögliche und in sich konsistente Entwicklungspfade sichtbar zu machen. Die Ergebnisse können entsprechend einer Wenn-Dann-Aussage interpretiert werden und zeigen den Entwicklungspfad des Arbeitsmarktes auf, wenn sich an den bislang erkennbaren Verhaltensweisen nichts ändert. Damit beinhalten die in der Basisprojektion beschriebenen Entwicklung bereits einen technologischen Fortschritt, allerdings orientiert sich diese Fortschrittsrate an der aus der Empirie abgeleiteten Entwicklung. Konkret bedeutet dies, dass insbesondere Betriebe in Branchen mit hohen Investitionen in neue Technologien auch in Zukunft verstärkt in technische Innovationen investieren.

Das Wirtschaft 4.0-Szenario weicht bewusst von der empiriebasierten Entwicklung ab. So wird angenommen, dass zusätzliche Anstrengungen bzw. Investitionen notwendig sind, damit Deutschland beim Wandel zur Wirtschaft 4.0 weltweit eine Vorreiterrolle übernimmt bzw. behaupten kann. Die Operationalisierung des Wirtschaft 4.0-Szenarios beruht auf Annahmen und quantitativen Einstellungen, die neben den dafür notwendigen Investitionen sowohl weitere Komponenten der Endnachfrage (Konsum der privaten Haushalte und des Staates sowie Exporte), die Kostenstruktur einzelner Branchen als auch Größen des Arbeitsmarktes in Art und Umfang betreffen. Die Komplexität dieses Szenarios erfordert daher eine Vielzahl an Eingriffen in das Modell QINFORGE (Wolter u.a. 2016: 18). Dieses zeichnet sich vor allem durch die detail-

lierte Modellierung der Branchen mit ihren Kostenstrukturen auf Basis der Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes und die feingliederige Darstellung der 141 Berufsgruppen nach 63 Wirtschaftszweigen und 4 Anforderungsniveaus auf Basis von Mikrozensus-Daten aus. Dadurch lassen sich Veränderungen der Produktionsweise in den Branchen, wie auch der Berufs- und Anforderungsstruktur nach Branchen abbilden.

Die Annahmen des Alternativszenarios folgen Überlegungen eines volkswirtschaftlichen Investitionszyklus (Abbildung 1): Zunächst werden von privatwirtschaftlicher, wie auch staatlicher Seite die Ausrüstungs- und Bauinvestitionen erhöht. Zudem werden Weiterbildungen und Beratungsleistungen notwendig. Nach den Kostenaufwendungen werden Erträge erwartet. Dies äußert sich in den bezogenen Gütern und Leistungen sowie im Personal- und Kapitaleinsatz der Produktionsbereiche. Hierzu kommen die Anpassungen der Berufsstruktur innerhalb der investierenden Branchen sowie abschließend die Auswirkungen auf die übrigen Nachfragekomponenten in Folge der Digitalisierung. Sind diese „Stellschrauben“ festgezogen, erlaubt der Modellierungsansatz des QuBe-Projektes eine simultane dynamische Abschätzung der Wirkungen auf die Gesamtwirtschaft und den Arbeitsmarkt. Der folgende Abschnitt beschreibt die von der QuBe-Basisprojektion abweichenden Annahmen im Detail.

2.2 Annahmen

Die nachfolgenden Auflistungen beschreiben die von der QuBe-Basisprojektion abweichenden Eingriffe in das Modell, welche zum Erreichen einer weltweiten Vorreiterrolle Deutschlands beim Wandel hin zu einer Wirtschaft 4.0 notwendig sind. Abbildung 1 gibt überblicksartig die Teilschritte wieder. Eine detaillierte Begründung der einzelnen Annahmen findet sich in Wolter u.a. (2016). Aufgrund des mangelhaften Forschungsstandes zu den Wirkungen von Wirtschaft 4.0 – insbesondere in Bezug auf die notwendigen Investitionen und deren möglichen Auswirkungen – können nicht alle Annahmen mit empirischen Nachweisen belegt werden. Sofern keine Quelle genannt ist, handelt es sich um eine Annahme, die aufgrund mehrerer Informationen – wie z.B. qualitative Leitfadeninterviews⁴ – plausibilisiert wurde.

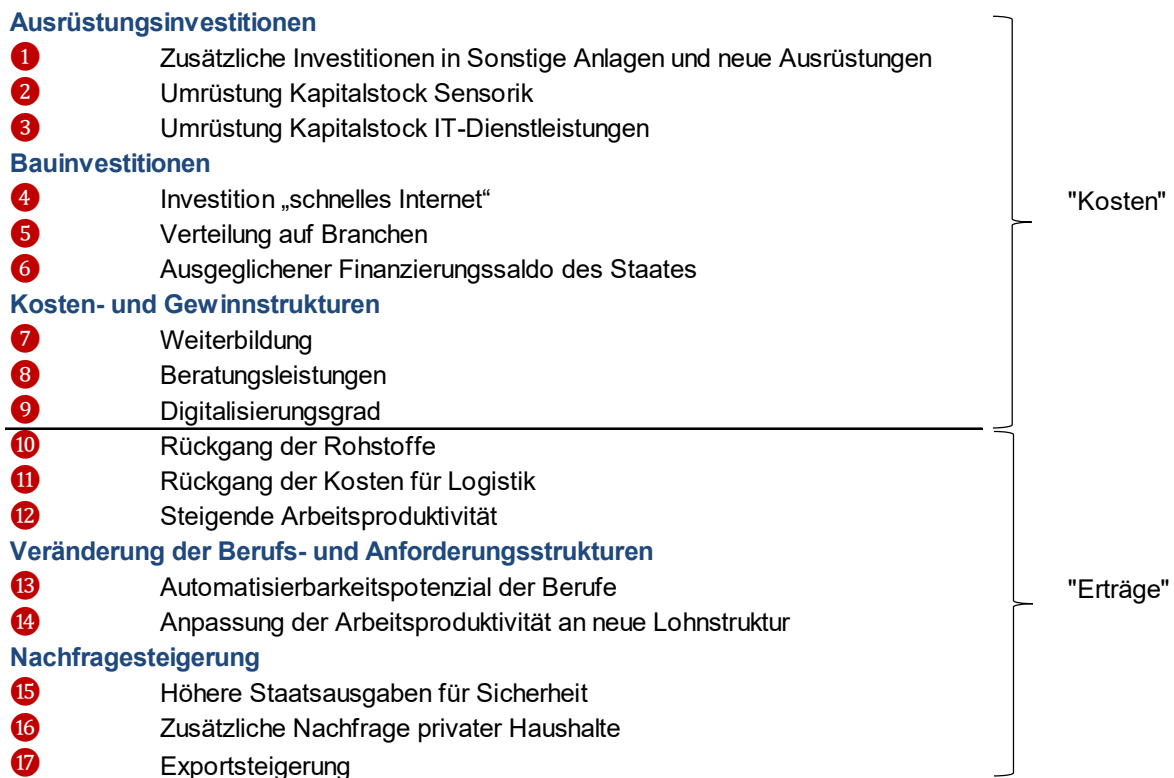
Wie in allen vorliegenden Veröffentlichungen zum Thema Industrie bzw. Wirtschaft 4.0 wird auch hier davon ausgegangen, dass Wirtschaft 4.0 nicht ad-hoc eingeführt wird, sondern der Übergang ein langfristiger Prozess ist, der bis 2030 anhält.⁵ Ab diesem Zeitpunkt gilt Wirtschaft 4.0 im Modell als vollständig realisiert und wird bis zum Ende des Projektionshorizontes – 2035 – bestehen bleiben. Zudem wird nicht

⁴ Im Rahmen von Leitfadeninterviews wurden von BIBB und IAB sechs Unternehmen sowie zwei Branchen- bzw. Berufsverbände aus dem Bereich Software, Elektrotechnik, Elektronik, Logistik und Fahrzeugbau zum Thema Digitalisierung befragt.

⁵ In der Literatur werden verschiedene Zeitpunkte für eine Umsetzung genannt.

von einer Rückkehr von Produktionsstätten nach Deutschland („Repatriierung“) ausgegangen.

Abbildung 1: Teilschritte zur Umsetzung einer Wirtschaft 4.0



Quelle: QuBe-Projekt, 5. Welle, Wirtschaft 4.0-Szenario.

Unter dem Stichwort „**Ausrüstungsinvestitionen**“ werden drei Modelleingriffe vorgenommen. Sie beinhalten die Aufwendungen, die notwendig sind, um die bestehenden Ausrüstungsgüter um- bzw. aufzurüsten, indem die Kontrollpläne ausgetauscht und die dazu notwendigen IT-Dienstleistungen bezogen werden.

1 Zusätzliche Investitionen in Sonstige Anlagen und neue Ausrüstungen:

Ausgehend davon, dass der Transformationsprozess durch gesteigerte Investitionsanstrengungen der Unternehmen geprägt ist, wird unterstellt, dass die Ausrüstungsinvestitionen um 0,5 Prozent im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion zulegen können. Das entspricht pro Jahr ca. 1,7 Mrd. Euro. Die Gütergruppen, denen diese zusätzlichen Investitionen zugewiesen werden (Elektrische Ausrüstungen, Maschinen, Installation von Maschinen sowie IT und Informationsdienstleistungen) haben einen Anteil an den Ausrüstungsinvestitionen und sonstigen Ausrüstungen von 33 Prozent laut Input-Output-Tabelle 2014 und erhalten damit einen Aufschlag von 1,5 Prozent. Dieser Zuschlag entspricht dem durchschnittlichen Wachstum der „Ausrüstungen und Sonstigen Anlagen“ der Jahre 2000 bis 2015. Die Jahresspanne umfasst zwei konjunkturelle Abschwünge. Es wird für die ausgewählten Güter somit eine zusätzliche Konjunktur unterstellt.

② Umrüstung Kapitalstock Sensorik: Die Umrüstung für den bestehenden Kapitalstock erfolgt nur für einen Teil der Maschinen. Aus den 10 Investitionsjahrgängen vor 2017 werden 50 Prozent der Anlagen in den Jahren 2017 bis 2024 mit neuer Sensorik ausgerüstet (Wolter u.a. 2015a, S. 26f.). vorausgesetzt, dass dieser Prozess unverändert fortschreitet, verbleiben für das vorliegende Szenario noch fünf Jahre (2019 bis 2024) in denen Umrüstungen stattfinden. Ausgehend von der Struktur des Jahres 2010 (ältester Jahrgang, der noch nachgerüstet wird, Datenstand Input-Output-Tabelle 2010, Europäischen System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen des Jahres 1995 (ESVG 95)) entfallen rund 4 Prozent des Investitionsjahrgangs 2010, der als Ausgangsgröße genutzt wird, auf die Gütergruppe „Mess-, Kontroll- u. ä. Instrumente und Einrichtungen, elektromedizinische Geräte, Datenträger“. Der Anteil der Sensorik an dieser Gütergruppe wird auf 25 Prozent geschätzt, da keine weiteren Informationen, z.B. aus der Produktionsstatistik, vorliegen. Da nur 50 Prozent eines Investitionsjahrganges ersetzt werden und der Anteil der Sensorik an der Gütergruppe nur 25 Prozent beträgt, ergibt sich ein Anteil am gesamten Investitionsjahrgang 2010 von 0,5 Prozent oder 1 Mrd. Euro.

③ Umrüstung Kapitalstock IT-Dienstleistungen: Für die IT-Dienstleistungen gelten die gleichen Überlegungen, die unter Annahme ② für die Sensorik dargelegt wurden. Allerdings mit einem Unterschied: Der Anteil der IT-Dienstleistungen in der Güterstruktur der Input-Output-Tabelle 2010⁶ ist drei Mal größer. Es werden also rund 3 Mrd. Euro zusätzlich investiert.

Wenn der Übergang zu einer Wirtschaft 4.0 gelingen soll, dann müssen auch Investitionen im Netzausbau getätigt werden („**Bauinvestitionen**“ in Abbildung 1). Die politischen Absichten sowie die damit verbundenen Kosten werden im Folgenden aufgelistet.

④ Investition „schnelles Internet“: Das Bundesministerium für Verkehr rechnet damit, dass jährlich fast 4 Mrd. Euro in den Netzausbau investiert werden (BMVI 2017). Ab dem Jahr 2025 soll ein rechtlich verankerter Anspruch auf „schnelles Internet“ bestehen. Die Ausbaumaßnahmen verliefen in den letzten Jahren schleppend, so dass im Szenario davon ausgegangen wird, dass bis 2025 weiterhin jährlich vier Mrd. Euro mehr in den Netzausbau investiert werden.

⑤ Verteilung auf Branchen: In der Regel werden kabelgebundene Technologien (TÜVRheinland 2013) eingesetzt. Demzufolge werden im Modell Tiefbauarbeiten und der Einsatz von elektronischen Ausrüstungen (u.a. Kabel) betroffen sein. Die elektronischen Ausrüstungen stellen nur einen geringen Anteil der Bauinvestitionen. Daher wird angenommen, dass dieser Teil der Investitionen bereits in der Vergangenheit zu großen Teilen für den Leitungsausbau eingesetzt worden ist und auf

⁶ Die Input-Output Matrix des Jahres 2010 ist nach dem Europäischen System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen des Jahres 1995 untergliedert und gibt die Struktur zum Zeitpunkt der bereits getätigten Investitionen wieder.

circa 1 Mrd. Euro pro Jahr steigt. Die übrigen 3 Mrd. Euro der 4 Mrd. Euro Zusatzinvestitionen werden für Tiefbauleistungen ausgegeben. Die Gegenbuchung erfolgt vollständig bei den Investitionen des Staates.

6 Ausgeglicherer Finanzierungssaldo des Staates: Es wird davon ausgegangen, dass die „Bauinvestitionen“ nicht über Schulden finanziert werden. Stattdessen könnten für die Finanzierung beispielsweise im Zeitverlauf entstehende zusätzliche Steuereinnahmen verwendet werden. Wenn allerdings im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion nicht genügend zusätzliche Steuereinnahmen erzielt werden, müssen Steuern erhöht (oder geplante Senkungen verschoben) werden. Eine Belastung des Haushaltes der Gebietskörperschaften wird vermieden.

Die Investitionen in Ausrüstungen ziehen zum einen Bedarf an Weiterbildungs- und Beratungsdienstleistungen nach sich, um das mit den neuen Technologien einhergehende Wissen in den Betrieb zu transferieren. Zum anderen werden aber auch Einsparungen durch die Investitionen erwartet („**Kostenstrukturen- und Gewinn**“ in Abbildung 1).

7 Weiterbildung: Die Teilnahmequote an Lehrveranstaltungen in Betrieben im Produzierenden Gewerbe lag bei 40 Prozent und im Dienstleistungsbereich bei ca. 35 Prozent (Statistisches Bundesamt 2017). Es wird davon ausgegangen, dass bis 2030 rund 80 Prozent der Beschäftigten an einer zusätzlichen Weiterbildung im Kontext der Digitalisierung teilnehmen werden. Bei einer gleichmäßigen Verteilung dieser Weiterbildungsmaßnahmen auf den Zeitraum von 2018 bis 2030 würde die Teilnahmequote in diesem Zeitraum um rund sechs Prozentpunkte über der derzeitigen Teilnahmequote liegen. Laut den Ergebnissen der CVTS5 (Statistisches Bundesamt 2017) kostete eine Lehrveranstaltung (direkte und indirekte Kosten) pro Mitarbeiterin und Mitarbeiter im Produzierenden Gewerbe ca. 718 Euro und im Dienstleistungsgewerbe 663 Euro.

8 Beratungsleistungen: Es sind zusätzliche Beratungsleistungen in Höhe von 1,5 Prozent notwendig, um die neue Produktionsweise im Unternehmen zu implementieren. Die Beratungsleistungen gehen mit dem Investitionsgeschehen (Annahme **1**) einher. Bei ähnlichen Szenarien (Veränderungen der Kostenstrukturen bezogen auf Material- und Energieverbrauch) (u.a. (Fischer u.a. 2005)) wird ebenfalls von steigenden Aufwendungen auf Grund von nachfolgenden Kosteneinsparungen ausgegangen.

9 Digitalisierungsgrad: In allen Branchen erhöht sich der Inputkoeffizient 48 („IT- und Informationsdienstleister“) gemäß gegebener Digitalisierungsgrade und derzeitiger Investitionsanteile in digitale Technologien (siehe Methodenkasten 2 „Digitalisierungsgrad, Investitionen in digitale Technologien und Ausschöpfung des Ersetzbarkeitspotenzials“). Die Informationen zum Digitalisierungsgrad und den Investitionsanteilen entstammen aus 7 000 befragten Betrieben des BIBB-Qualifizierungspanels 2016 (Gerhards und Friedrich 2018). Die Branchen werden nach den Kennzahlen in

sechs Gruppen eingeteilt. Betriebe in Branchen mit einem geringen Digitalisierungsgrad und geringen Investitionsanteilen in digitale Technologien, müssen entsprechend mehr investieren, um zu den bereits jetzt höher digitalisierten Branchen aufzuschließen.

Methodenkasten 2: Digitalisierungsgrad, Investitionen in digitale Technologien und Ausschöpfung des Ersetzbarkeitspotenzials.

Der verwendete Digitalisierungsgrad im Wirtschaft 4.0-Szenario stützt sich auf vier Fragen des BIBB-Qualifizierungspanels in 2016, die 7 000 repräsentativ ausgewählten Betrieben gestellt wurden (Gerhards und Friedrich 2018). Dabei wurde in Erfahrung gebracht, ob der Betrieb folgende Technologien nutzt:

- Auf die Vernetzung mit Kunden bezogene digitale Technologien, z.B. betriebseigene Internetseiten mit Produktübersichten oder Dienstleistungsangeboten, Online-Bestell- oder Buchungssysteme, Social Media
- Digitale Technologien, die sich auf Sammlung, Speicherung und Verarbeitung großer Datenmengen beziehen, z.B. Big data, cloud computing
- Auf Vernetzung mit Lieferanten bezogene digitale Technologien, z.B. Enterprise-Resource-Management (ERP)
- Personal- oder arbeitsorganisationsbezogene Technologien, wie z.B. Personal-Management-Tools, Gebäude-Anlagen-Management-Tools

Für jede genutzte Technologie erhält der befragte Betrieb einen Punkt. D.h. es werden minimal 0 und maximal 4 Punkte vergeben. Der Digitalisierungsgrad einer Branche berechnet sich aus der durchschnittlichen (gewichteten) Punktzahl an Betrieben in der Branche bzw. dem Anteil an genutzten Technologien (+1 da auch keine Technologie genutzt werden kann) im Verhältnis zu den maximal möglichen Antworten (5).

Die nachfolgende Tabelle gibt den durchschnittlichen Digitalisierungsgrad nach sechs Branchengruppen wieder. Die Aufteilung der Branchen in die Branchengruppen findet sich in Tabelle 4 im Anhang. Die erste Branchengruppe, welche u.a. die Wirtschaftszweige „(62-63) IT- und Informationsdienstleister“ und „(72) Forschung und Entwicklung“ enthält, nutzt im Schnitt 2,35 der oben genannten Technologien. Nimmt man mindestens 3 genutzte Technologien als Maßstab, so ist der anteilige Digitalisierungsgrad an den Antworten 67 Prozent $(= (2,35 + 1) / 5)$. Es fehlen somit noch 13 Prozentpunkte um einen Digitalisierungsgrad von 80 Prozent zu erreichen. Mit einem Investitionsanteil an digitalen Technologien von 53 Prozent liegen die bereits getätigten Investitionen dieser Branchen zudem weit über den Investitionsanteilen in den anderen Branchen.

Tabelle Digitalisierungsgrad, Investitionsanteil in digitale Technologien, Erhöhung der Inputkoeffizienten und Ausschöpfungsgrad

	Gruppe					
	1	2	3	4	5	6
Digitalisierungsgrad (Punkte)	2,35	1,75	1,70	1,47	1,30	1,06
Digitalisierungsgrad (anteilig an möglichen Antworten)	67%	55%	54%	49%	46%	41%
Wieviel Prozentpunkte fehlen bis 80% erreicht sind?	13	25	26	31	34	39
Anteil an Investitionen in digitale Technologien	53	36	32	22	20	17
Differenz zur ersten Gruppe	0	17	21	31	33	36
Erhöhung der Vorleistungseinsätze der Branche „IT- und Informationsdienstleister“ bis 2030 gemessen am Stand 2018 (Annahme 9)	1,15	1,40	1,70	2,00	2,30	2,70
Unterstellter Ausschöpfungsfaktor / Umfang der Umwälzung (Annahme 13)	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35

Für die Erhöhung der Vorleistungseinsätze der Branche „IT- und Informationsdienstleister“ (Annahme 9) werden die Unterschiede im Digitalisierungsgrad und in den Investitionsanteilen gleichermaßen approximativ berücksichtigt.

Der Ausschöpfungsgrad bzw. der Umfang der Umwälzung der Berufe innerhalb einer Branchengruppen verhält sich entsprechend zur Erhöhung der Vorleistungseinsätze (Annahme 13). In der ersten Gruppe werden lediglich weitere 10 Prozent des Ersetzbarkeitspotenzials bis 2030 ausgeschöpft, in der sechsten Gruppe sind es 35 Prozent.

10 Rückgang der Vorleistungseinsätze: In der Landwirtschaft und im Produzierenden Gewerbe sinkt der Materialeinsatz im Vergleich zur Basisprojektion bis zum Jahr 2030 um 0,72 Prozent (Dienstleistungsgewerbe: 1,2 Prozent). Die Annahmen werden wie in der Vorgängerstudie aus den differenzierten Renditeüberlegungen (annähernd 8 Prozent) aus einzelwirtschaftlicher Sicht des Produzierenden Gewerbes bzw. der Dienstleistungsbereiche abgeleitet.

11 Rückgang der Vorleistungseinsätze für Logistik: In der Landwirtschaft, im Produzierenden Gewerbe und den Dienstleistungsbereichen sinken die Vorleistungseinsätze für Logistik im Vergleich zur Basisprojektion bis zum Jahr 2030 um 0,8 Prozent. Die Annahmen werden, wie in der der Vorgängerstudie, aus den differenzierten Renditeüberlegungen aus einzelwirtschaftlicher Sicht des Produzierenden Gewerbes bzw. der Dienstleistungsbereiche abgeleitet. Von den Eingriffen zur Logistik sind die Wirtschaftszweige von WZ2008-49 „Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen“ bis WZ2008-53 „Post-, Kurier- und Expressdienste“ betroffen.

12 Steigende Arbeitsproduktivität: Es wird unterstellt, dass Unternehmen nur dann investieren, wenn mit einer Rendite von 8 Prozent bis zum Jahr 2030 zu rechnen ist. Für jede Branche werden also zunächst sämtliche Kosten, erwartete Einsparungen und die erwarteten zusätzlichen Umsatzsteigerungen ermittelt und gegenübergestellt. Die zusätzliche Steigerung der Arbeitsproduktivität wird anschließend so dimensioniert, dass 8 Prozent Rendite erreicht werden. Aus diesen Überlegungen folgt, dass die Arbeitsproduktivität im Verarbeitenden Gewerbe um 0,4 Prozent und im Dienstleistungsbereich um 1,3 Prozent bis 2030 steigen muss. Die 8 Prozent sind geringer als der Anteil des Nettobetriebsüberschusses relativ zum Produktionswert in 2016, weil der Nettobetriebsüberschuss Selbstständigeinkommen enthält, die wie Lohnneinkommen zur Lebensführung eingesetzt werden und daher herausgerechnet werden. Ohne die Selbstständigeinkommen wird ein Anteil von gerundet 8 Prozent erreicht.

13 Automatisierbarkeitspotenzial der Berufe: Die Verdrängung menschlicher Tätigkeiten durch technische Innovationen wird durch zwei wesentliche Faktoren bestimmt: Das Ersetzbarkeits- oder Programmierbarkeits*potenzial*, das eine Tätigkeit (siehe Methodenkasten 3: „Das BIBB-Ersetzbarkeitsmaß“) bietet und das Ausmaß mit dem dieses *Potenzial ausgeschöpft* wird. Hindernisse für eine volle Ausschöpfung des Potenzials können vielfältiger Natur sein. So können beispielsweise betriebswirtschaftliche oder rechtliche Gründe den Nutzen durch eine Programmierung beschränken.

Während mit der IAB/ZEW-Befragung zur Arbeitswelt 4.0 und der QuEst-Befragung (Quality in Establishment Surveys) betriebliche Auskünfte zu den erwarteten Materialeinsparungen vorliegen, kann das Ausmaß der Ersetzbarkeit von Tätigkeiten in Folge einer Digitalisierung nur angenähert werden. Dabei existieren eine Reihe von Ansätzen (z.B. Bonin u.a. 2015, Brzeski und Burk 2015, Dengler und Matthes 2015, Pfeiffer und Suphan 2015, Tiemann 2016) die sich der möglichen Substituierbarkeit

von Tätigkeiten durch Digitalisierung im Sinne von (Frey und Osborne 2013) annehmen. Während in Wolter u.a. (2016) auf das Automatisierbarkeitsmaß von Dengler und Matthes (2015) zurückgegriffen wurde, wird in dem hier vorgestellten Szenario auf ein Ersetzbarkeitsmaß des BIBB umgestellt (siehe Methodenkasten 3: Das BIBB-Ersetzbarkeitspotenzial, (Lewalder u.a. im Erscheinen)). Dieses Maß legt den Fokus auf die mögliche zukünftige Programmierbarkeit von empirisch ermittelten berufstypischen Aufgaben und ist sowohl in der Lage dieses Potenzial auf Berufsebene zwischen Branchen zu unterscheiden als auch diese mit dem Digitalisierungsgrad der Branche zu verbinden. Dengler und Matthes (2015) ihrerseits erfassen über die Tätigkeiten im Beruf die Anteile der Tätigkeiten die bereits heute von Robotern und digitalisierten Systemen erledigt werden kann.

Methodenkasten 3: Das BIBB-Ersetzbarkeitspotenzial

Das BIBB-Ersetzbarkeitspotential (Lewalder u.a. im Erscheinen) basiert auf Information aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung (ETB) aus dem Erhebungszeitraum 2017/18. Hierzu wurden 20.000 Kernerwerbstätige (mindestens 10 Arbeitsstunden in der Woche gegen Bezahlung tätig) in Deutschland nach ihrer subjektiven Einschätzung hinsichtlich ihrer Arbeitsaufgaben und der von ihnen durchgeführten Tätigkeiten befragt. Die Perspektive ist also eine individuelle, die Antworten auf die Fragen sind subjektive Einschätzungen. Das hat den Vorteil, dass aktuelle, konkrete Informationen zu Bedingungen und Anforderungen am Arbeitsplatz vorliegen.

Die Berechnung des BIBB-Ersetzbarkeitspotentials orientiert sich eng an der Definition von Ersetzungspotential in der Literatur (Autor u.a. 2008, Frey und Osborne (2013)) und bildet ein Spektrum ab von monotonen, programmierbaren Tätigkeiten bis hin zu kreativen Tätigkeiten mit hohen kognitiven Anforderungen.

Programmierbar sind Tätigkeiten, die bis ins letzte Detail vorgeschrieben sind. Auf der anderen Seite stehen Ausbildungsaufgaben, Reparaturaufgaben und Anforderungen, neue Lösungen zu finden. Diese werden auf einen Faktor reduziert und jede*r Befragte bekommt einen Faktorwert, der ihre oder seine individuelle Einordnung auf diesem Spektrum anzeigt.

Im Anschluss wurden auf der Ebene von Berufen (Dreisteller der KldB2010) gewichtete Durchschnittswerte für die jeweiligen Berufe ermittelt. Diese zeigen, wie sehr im Schnitt ein Beruf eher programmierbare oder eher kreative oder interaktive Aufgaben beinhaltet. Im letzten Schritt wurde ein Schwellenwert (obere 30 Prozent) für den Index angenommen. Der Anteil der Erwerbstätigen in einem Beruf, der über diesem Schwellenwert liegt, wird als das durch Digitalisierung ausschöpfbare Ersetzungspotential bezeichnet.

Im Wirtschaft 4.0-Szenario der fünften Welle des QuBe-Projektes wird die Ausschöpfung des Ersetzbarkeitspotenzials an die branchenspezifischen Investitionen in digitale Technologien geknüpft (siehe Annahme 9). Gemäß dem unterstellten Ausschöpfungsfaktor (siehe Methodenkasten 2 „Digitalisierungsgrad, Investitionen in digitale Technologien und Ausschöpfung des Ersetzbarkeitspotenzials“) wird erwartet, dass das Ersetzbarkeitsmaß – welches nach Berufen und Branchen variiert – nach den sechs Branchengruppen unterschiedlich aber nie vollständig ausgeschöpft wird. In Branchen, welche nach Annahme 9 stärker investieren, wird eine höhere Ausschöpfung und damit eine höhere Umwälzung der Berufsstruktur erreicht als in Branchen die bereits jetzt einen hohen Digitalisierungsgrad aufweisen. Je wei-

ter eine Branche bereits heute digitalisiert ist, umso geringer wirkt sich die Abweichung des Ersetzbarkeitspotenzials eines Berufes vom branchenspezifischen Ersetzbarkeitspotenzial aus. Im Ergebnis wird ein Beruf mit einem hohen Anteil an potenziell ersetzbaren Arbeitsaufgaben besonders stark, relativ zu den anderen eingesetzten Berufen der Branche, abgebaut, wenn die Branche selbst bislang wenig oder gar nicht digitalisiert ist.

14 Anpassung der Arbeitsproduktivität an die neue Lohnstruktur: Die Berücksichtigung der empirisch ermittelten Ersetzbarkeitspotenziale (vgl. Annahme **13**) in jedem Wirtschaftszweig führt zu einer neuen Berufsstruktur. Da Berufe mit einer geringen Ersetzbarkeit tendenziell besser entlohnt werden als Berufe mit hoher, steigt die Lohnsumme infolge der neuen Berufsstruktur an. Unter der Prämisse einer produktivitätsorientierten Entlohnung steigt dementsprechend auch die durchschnittliche Arbeitsproduktivität in den Branchen.

Zuletzt werden Multiplikatoren-Effekte erwartet, da mit einem steigenden Einkommen der Konsum zunimmt und der internationale Wettbewerbsvorteil Deutschlands durch die Investitionen gesichert werden kann („**Nachfragesteigerung**“).

15 Höhere Staatsausgaben für digitale Sicherheit: Die Konsumausgaben des Staates werden im Bereich der Cyber-Kriminalität bzw. Cyber-Kriegsführung um 5 Prozent bis 2021 erhöht, um den neuen Gefahren infolge der Digitalisierung zu begegnen (Biermann und Klormann 2017, BMVg 2018). Danach verharren sie auf diesem Niveau. Für die Bundespolizei (Tätigkeitsbereich öffentliche Sicherheit) wird eine äquivalente Aufstockung von 5 Prozent unterstellt. Beides wird nach Aufgabenbereichen laut der Classification of the Functions of Government (COFOG) bei den Konsumausgaben des Staates verbucht.

16 Zusätzliche Nachfrage privater Haushalte: Die Nachfrage nach Gütern steigt bis 2030 um 2 Prozent und nach Dienstleistungen um 3 Prozent. Die privaten Haushalte haben Interesse an den neuen Konsummöglichkeiten, die sich nach der Umstellung auf Wirtschaft 4.0 ergeben. Produkte können individuell zugeschnitten werden, das Interesse an Neuem und einer Beschleunigung der Vernetzung bisheriger Endgeräte mit z. B. der Wohnung oder dem Auto mögen dafür Ursachen sein. Die Dynamik und der Umfang dieser zusätzlichen Nachfragen sind kaum abzuschätzen. Ein weiteres Resultat der bereits erwähnten Betriebsbefragungen war jedoch, dass die Betriebe durch Investitionen in neuere Technologien auch Umsatzzuwächse durch neue Güter bzw. Dienstleistungen erwarten. Da diese Erwartungshaltung bei Betrieben aus Dienstleistungsbranchen größer ist als bei solchen aus dem Produzierenden Gewerbe, wurde angenommen, dass die Nachfrage der privaten Haushalte nach neuen Gütern um 2 Prozent steigt, nach Dienstleistungen um 3 Prozent. Dies ist nicht als Mengensteigerung bei bestehenden Produkten zu verstehen, sondern als Nachfrage nach neuen bzw. weiterentwickelten Produkten und Leistungen, welche die Unternehmen aufgrund ihrer Investitionen in 4.0-Technologien anbieten können.

17 Exportsteigerung: Deutschland hat bei der Umstellung auf eine Wirtschaft 4.0 weltweit eine Vorreiterrolle inne. Das Ausland reagiert mit einer Verzögerung von fünf Jahren (temporäre Monopolgewinne). Auch wenn Deutschland aktuell zwar schwach digitalisiert ist, wird hier aber Wirtschaft-4.0-Technologie hergestellt (z. B. Sensortechnik). Die Nachfrage nach neuen Gütern und Dienstleistungen steigt weltweit und dementsprechend auch die deutschen Exporte. Diese Annahme kann zu einer Überschätzung der tatsächlichen Folgen führen, durch eine schnellere Realisierung der Wirtschaft 4.0 im Ausland kann sich die Importstruktur und -höhe in Deutschland verändern.

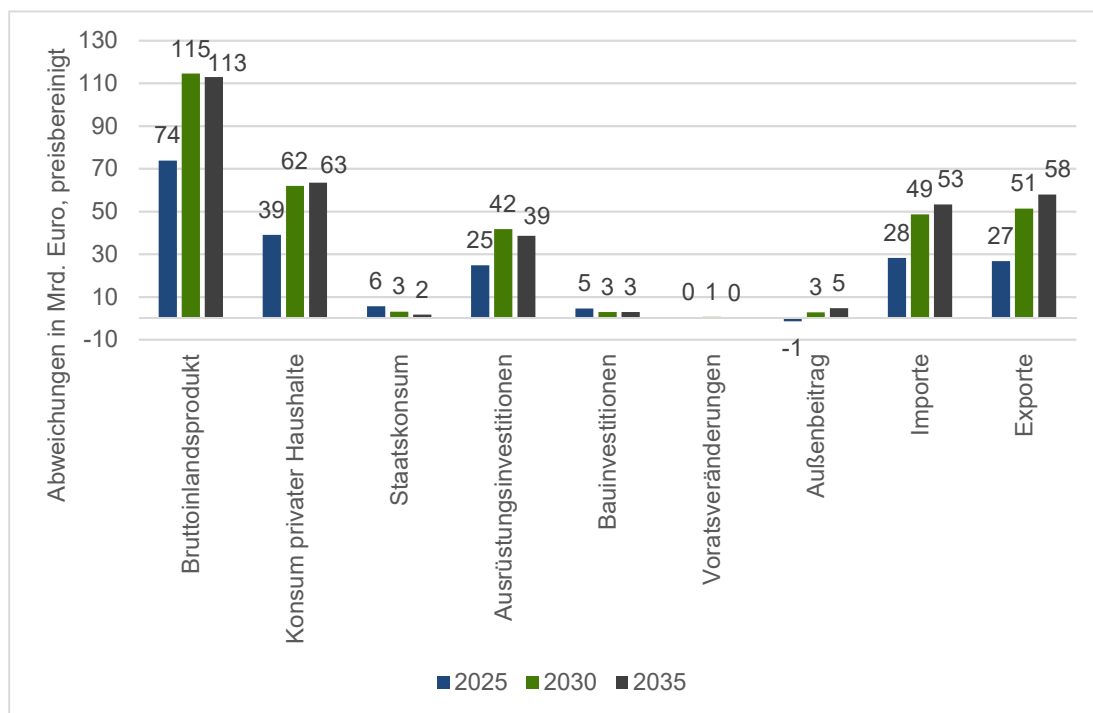
3 Ergebnisse und Diskussion der Szenario-Rechnung

3.1 Vergleich mit der QuBe-Basisprojektion

Das Ergebnis des Wirtschaft 4.0-Szenarios wird durch die Wirkungen sämtlicher Annahmen (1-17) auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Arbeitsmarkt bestimmt. Dabei können die einzelnen Annahmen durchaus konträre Wirkungen auf die betrachteten Größen haben. Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich jedoch auf eine gemeinsame Betrachtung aller Auswirkungen. Die Einzeleffekte, sowie alternative Entwicklungen werden in Kapitel 3.2 dieses Beitrages diskutiert.

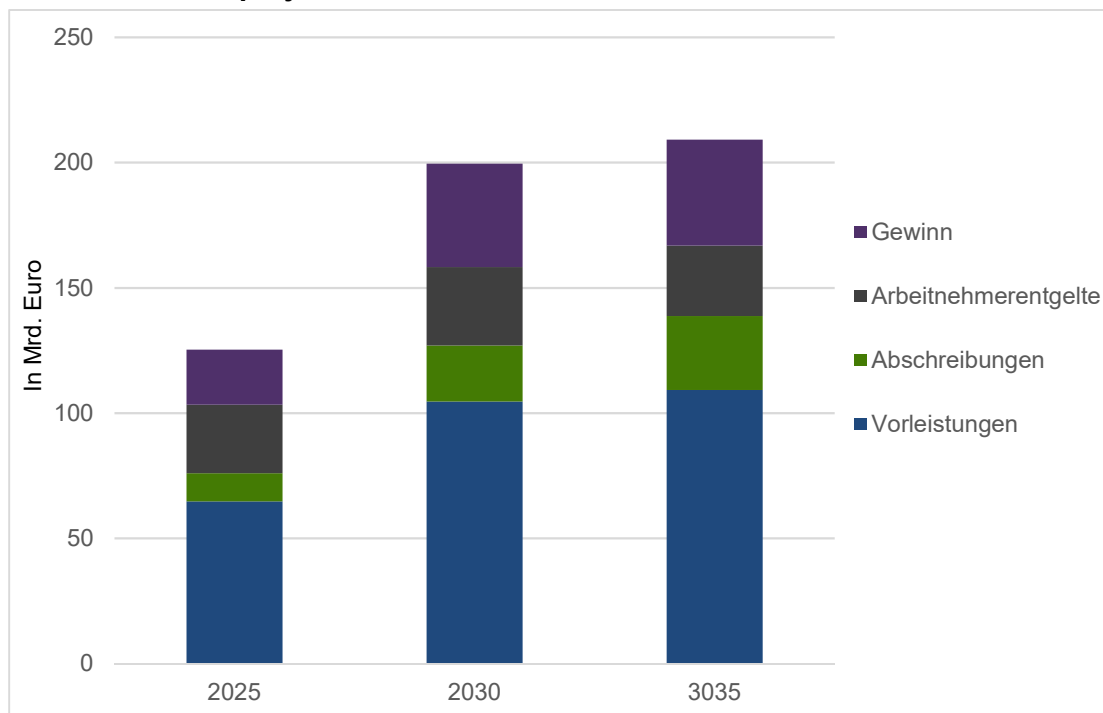
Abbildung 2 stellt die Entwicklung der Komponenten des Bruttoinlandsprodukts im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion dar. Deutschlands unterstellte Vorreiterrolle bei der Umstellung auf eine Wirtschaft 4.0 spiegelt sich in den gestiegenen Exporten wieder, da weltweit die Nachfrage nach neuen Dienstleistungen und Gütern steigt. Zwar steigen im Beobachtungszeitraum auch die Importe deutlich an, dennoch wirkt sich der Anstieg der Exporte deutlich positiv auf den Außenbeitrag aus. Durch die verlangsamte Umstellung auf eine Wirtschaft 4.0 steigen im Vergleich zu Wolter u.a. (2016) die Ausrüstungsinvestitionen bis 2030 an. Nach 2030 bleiben preisbedingte Wettbewerbsvorteile bestehen.

Abbildung 2: Komponenten des Bruttoinlandsproduktes im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion



Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Abbildung 3: Primärinputs und Vorleistungen im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion

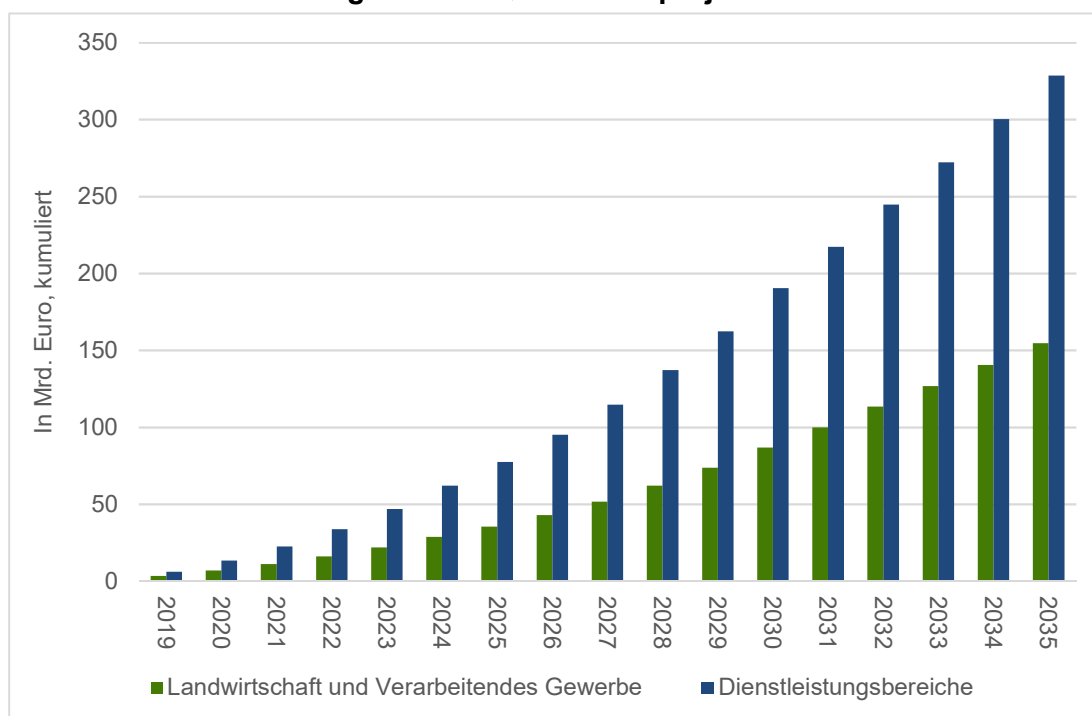


Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Abbildung 3 zeigt die Wirkung auf die Produktion. Die Produktion besteht definitionsgemäß aus dem Vorleistungseinsatz und der Wertschöpfung. Diese wiederum kann zerlegt werden in Arbeitnehmerentgelte, Abschreibungen und Nettobetriebsüberschüsse (vereinfacht: Gewinn). Die Produktion insgesamt steigt über die Jahre an. In 2025 liegt sie ca. 125 Mrd. Euro über der Basisprojektion – 2030 und 2035 sogar um ca. 200 bzw. 210 Mrd. Euro. Die Umstrukturierungen des Arbeitseinsatzes aufgrund der Realisierungen von bestehenden Ersetzbarkeitspotenzialen und die steigende Arbeitsproduktivität begünstigt Berufe mit höheren Löhnen. Die angenommene Steigerung der Arbeitsproduktivität führt bei einer produktivitätsorientierten Lohnpolitik der Unternehmen zu Lohnsteigerungen der Erwerbstätigen. Die Steigerungen der Arbeitnehmerentgeltzahlungen tragen ebenfalls zu steigenden Konsumausgaben bei (vgl. Abbildung 2). Auch die Abschreibungen werden bedingt durch die gestiegenen Investitionen in Umrüstung im Zeitverlauf zunehmen. In der Folge sind die Abschreibungen auch nach vollständiger Umsetzung von Wirtschaft 4.0 auf einem höheren Niveau.

Die zusätzlichen Gewinne sehen auf den ersten Blick gering aus. Allerdings sind gesamtwirtschaftlich die Gewinne auch in der Vergangenheit weniger als halb so groß wie die Arbeitnehmerentgelte. Die Gewinnentwicklung wird deshalb gesondert in Abbildung 4 betrachtet. Hier sind über den gesamten Zeitraum durchgehend positive Gewinne im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion feststellbar. Werden die Gewinne über sämtliche Jahre des Szenariozeitraums 2019 bis 2035 addiert, dann wird bis 2035 ein kumulierter Gewinnzuwachs von rund 329 Mrd. Euro im Dienstleistungssektor und von 154 Mrd. Euro in den restlichen Branchen erreicht. In den Jahren nach 2030 können die Gewinne stärker gesteigert werden, da der Umbau zu diesem Zeitpunkt stattgefunden hat und die Nachfrageimpulse bestehen bleiben.

Abbildung 4: Entwicklung der kumulierten Gewinne der Landwirtschaft und des Produzierenden Gewerbes sowie des Dienstleistungsgewerbes im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion



Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Vergleicht man die Arbeitslandschaft im Wirtschaft 4.0-Szenario auf der Ebene von 63 Wirtschaftszweigen und 141 Berufen mit der QuBe-Basisprojektion, zeigt sich bei einem Vergleich im Jahr 2030 bzw. 2035, dass die Auswirkungen der Digitalisierung auf das Gesamtniveau der Arbeitsnachfrage mit minus 100.000 Arbeitsplätzen bzw. mit minus 140.000 relativ zur Gesamtzahl der Arbeitsplätze verhältnismäßig gering ausfallen. Allerdings unterscheiden sich die beiden Arbeitswelten („Wirtschaft 4.0“ vs. „QuBe-Basisprojektion“) hinsichtlich ihrer Branchen- und Berufsstruktur deutlich voneinander. In der digitalisierten Welt wird es im Jahr 2030 einerseits 670.000 Arbeitsplätze, die nach der Basisprojektion noch vorhanden sein werden, nicht mehr geben. Andererseits werden im Wirtschaft 4.0-Szenario ebenfalls 570.000 Arbeitsplätze entstanden sein, die in der Basisprojektion nicht existieren werden. Im Nachfolgenden werden die Veränderungen nach Branchen, Berufen und Anforderungsniveaus im Einzelnen dargestellt. Zusammengefasst unterscheidet sich der Charakter der Arbeitslandschaft im „Wirtschaft 4.0“-Szenario um rund 2,7 Prozent (= 1,24 Mio. von 45,2 Mio. Arbeitsplätzen) von der QuBe-Basisprojektion in 2030.⁷

⁷ Die hier vorgestellten Ergebnisse sind nicht mit denen aus Wolter u.a. (2016) vergleichbar, da sich zum einen die Zellenanzahl der beiden Szenariorechnungen unterscheidet ($9072 = (63 \text{ Wirtschaftszweige} \times 144 \text{ Berufe})$ versus $12600 = (63 \text{ Wirtschaftszweige} \times 50 \text{ Berufsfelder} \times 4 \text{ Anforderungsniveaus})$). Zum andern wurde 2016 von einem Ausschöpfungsgrad von 50 Prozent ausgegangen, während sich hier der Ausschöpfungsgrad je nach Branchen zwischen 10 und 35 Prozent bewegt.

Bei einer branchenspezifischen Betrachtung kann die Branche „Information und Kommunikation (J)“ deutlich an Erwerbstätigen zulegen (Abbildung 5). Zur Beurteilung der Rekrutierungssituation für Betrieb bzw. zur Abschätzung der möglichen Konkurrenzsituation von Arbeitnehmern für eine Arbeitsstelle im Beruf wurde mit der fünften Welle des QuBe-Projektes ein Fachkräfteindikator (FKI) geschaffen (Maier, Zika et al. (2018)). Dieser ermöglicht einen Überblick über die mögliche Fachkräftesituation sowohl im Berufs- als auch im Zeitvergleich und ist insbesondere für die detaillierteren 141 Berufsgruppen (Dreisteller der KldB 2010) geeignet, da auch die Arbeitsplatzsituation in den tätigkeitsähnlichen Berufshauptgruppen (Zweisteller der KldB 2010) mitberücksichtigt wird (siehe Methodenkasten 5: „Indikator zur Bestimmung der Fachkräftesituation“). Der Fachkräfteindikator setzt sich gleichgewichtet aus einer berufs-spezifischen Bilanzierung nach Arbeitsvolumen (Volumenindikator) und einem Strukturindikator zusammen. Der Strukturindikator bildet zum einen ab, wie groß die Anzahl der berufsspezifisch qualifizierten Personen aus dem Bildungssystem im Vergleich zu den nachgefragten Erwerbstätigen ist (Ausbildung über oder unter Bedarf?). Zum anderen berücksichtigt er, inwieweit Personen mit fachfremden Qualifikationen für die Tätigkeitsausübung in einem Beruf in Frage kommen (Substituierbarkeit).

Die mögliche Wertespanne von FKI reicht prinzipiell von 1 bis 100. In einer ausgeglichenen Arbeitsmarktsituation schwankt der Fachkräfteindikator um den Wert 50. In 2015 lagen 80 Prozent der 141 in der Projektion betrachteten Berufsgruppen in einem Wertebereich zwischen 43 und 57. Werte ober- oder unterhalb dieser Werte deuten somit auf einen stärkeren Handlungsbedarf hin. Werte unter 20 oder über 80 werden – auch in den Projektionen – bislang nicht erreicht. Dabei gestaltet sich die Fachkräftesituation und damit die Rekrutierung für Betriebe umso einfacher, je mehr Punkte ein Beruf aufweist. Aus Sicht der Beschäftigten verhält es sich genau umgekehrt: Je niedriger der Fachkräfteindikator ausfällt, umso geringer ist die Konkurrenz für die Arbeitnehmer.

Tabelle 1 stellt die 20 Berufsgruppen dar, für die sich die Fachkräftesituation aus Arbeitgebersicht im Wirtschaft 4.0-Szenario im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion in 2035 am stärksten entspannt, bzw. wo sich aus Arbeitnehmersicht die Konkurrenz erhöht. Zudem werden die Veränderungen für 2025 und 2030, sowie die Werte des FKI für die jeweiligen Jahre im Wirtschaft 4.0-Szenario aufgeführt.

Tabelle 2 enthält umgekehrt die 20 Berufsgruppen für die sich die Fachkräftesituation aus Arbeitgebersicht erschwert bzw. aus Arbeitnehmersicht mit weniger Konkurrenz zu rechnen ist. Die Werte aller Berufsgruppen finden sich unter www.qube-data.de.

Die Fachkräftesituation für Arbeitgeber wird sich in Folge der Digitalisierung vor allem in den Berufsgruppen „(512) Überwachung, Wartung, Verkehrsinfrastruktur“, „(531) Objekt-, Personen-, Brandschutz-, Arbeitssicherheit“ und in der „(732) Verwaltung“ entspannen (Tabelle 1). Bei der „(512) Überwachung, Wartung, Verkehrsinfrastruktur“, „(112) Tierwirtschaft“ (FKI = 39) und „(732) Verwaltung“ („FKI = 41) deutet der

Fachkräfteindikator in 2035 aber weiterhin auf Fachkräfteengpässe hin. Hervorzuheben ist die Situation zudem in „(831) Erziehung, Sozialarbeit, Heilerziehungspflege“. Denn hierbei handelt es sich keineswegs um Berufe, die ein hohes Ersetzbarkeitspotenzial aufweisen. Im Gegenteil: Die Nachfrage nach Erwerbstätigen in diesem Beruf steigt im Wirtschaft 4.0-Szenario sogar leicht an. Aufgrund der in QINFORGE modellierten Lohnanpassungen bei Engpässen und daraus folgenden Anpassungen der beruflichen Mobilität, nimmt das Arbeitsangebot in dieser Berufsgruppe stärker zu als der Bedarf.

Die Rekrutierung von Fachkräften erschwert sich für Arbeitgeber in Folge der Digitalisierung insbesondere in Berufen, die direkt mit der Umsetzung der Digitalisierung verbunden sind. So wird sich durch den steigenden Bedarf an IT-Dienstleistungen die Rekrutierung in den Berufsgruppen „(434) Softwareentwicklung und Programmierung“, „(432) IT-Systemanalyse, Anwenderberatung IT-Vertrieb“, „(433) IT-Netzwerktechnik-Koordination,-Administration,-Organisation“, „(431) Informatik“ im Vergleich zur Basisprojektion schwieriger gestalten. Insbesondere die Berufsgruppe „(432) IT-Systemanalyse, Anwenderberatung IT-Vertrieb“ spielt in diesem Diffusionsprozess eine bedeutende Rolle. Hier deutet ein FKI von 40 auf Fachkräfteengpässe hin. Weitere Engpässe sind in 2035 in „(816) Psychologie, nicht ärztl. Psychotherapie“, „(823) Körperpflege“ (FKI = 37) und in der „(271) Technischen Forschung und Entwicklung“ (FKI = 44) erkennbar.

Die Branchen „Gesundheits- und Sozialwesen (Q)“, „Verkehr und Lagerei (H) und „Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen“ (G) haben den deutlichsten Rückgang an Erwerbstätigen. Das „Verarbeitende Gewerbe (CA bis CX)“ und die „Landwirtschaft (A)“ verlieren ebenfalls an Arbeitsplätzen. Der Maschinenbau (CK) kann hingegen einen leichten Zuwachs verbuchen.

Abbildung 6 stellt die 15 Berufshauptgruppen mit den betragsmäßig höchsten Abweichungen in der Erwerbstätigenanzahl zwischen der QuBe-Basisprojektion und dem „Wirtschaft 4.0-Szenario“ in 2035 dar. Die Abweichungen sowie die insgesamt benötigte Anzahl an Erwerbstätigen nach Berufshauptgruppen (Zweisteller) oder Berufsgruppen (Dreisteller der KldB 2010) finden sich im QuBe-Datenportal (www.qube-data.de) – siehe auch Methodenkasten 4: „Das QuBe-Datenportal“).

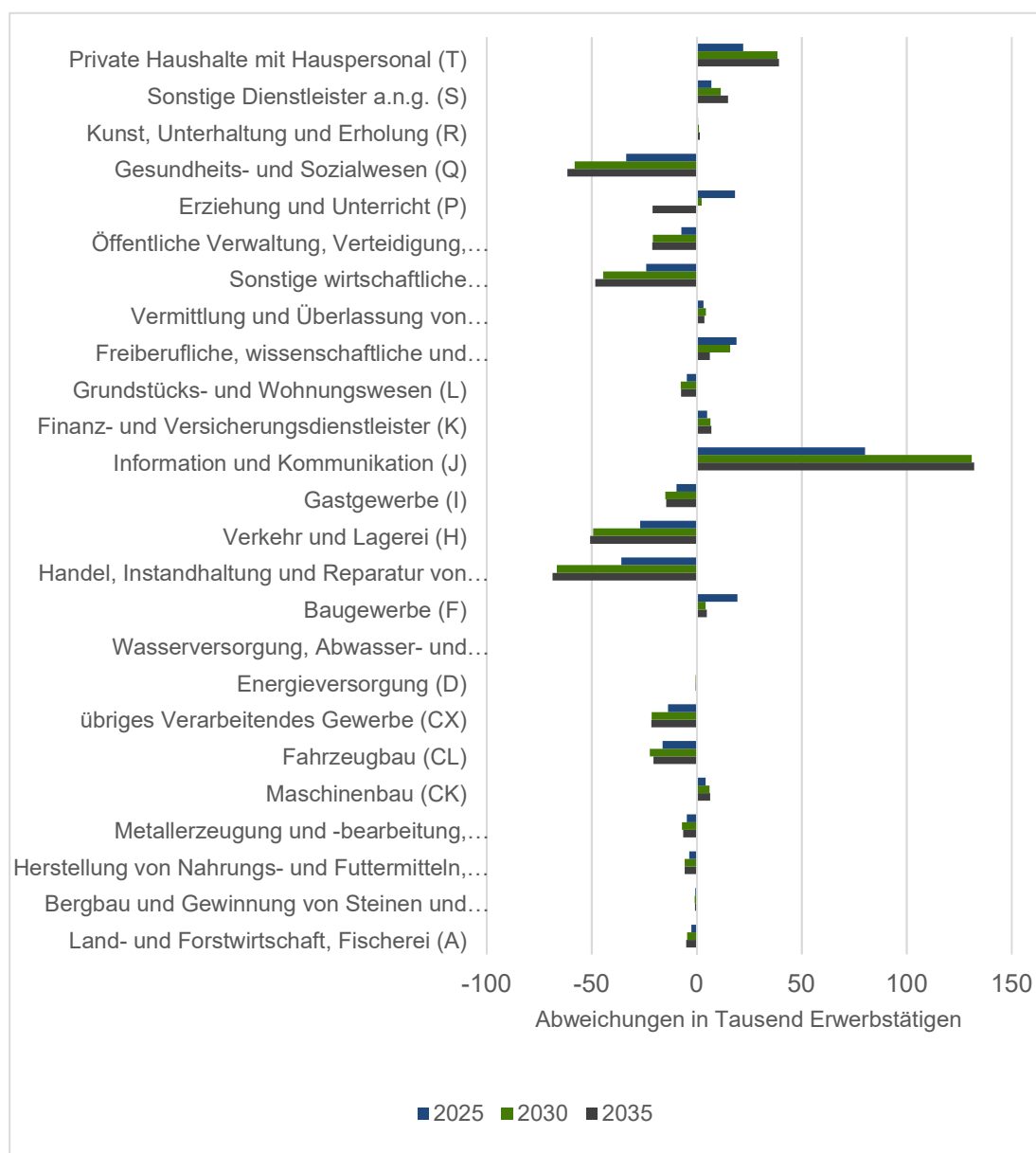
Methodenkasten 4: QuBe-Datenportal (www.qube-data.de)

Das QuBe-Datenportal ist eine interaktive Datenbankanwendung. Sie veranschaulicht die Ergebnisse der QuBe-Basisprojektion sowie des Wirtschaft 4.0-Szenarios und zeigt mögliche Entwicklungspfade von Arbeitsangebot und -nachfrage auf.

Die Ergebnisse der Basisprojektion können disaggregiert nach Berufsgruppen, Berufshauptgruppen oder Qualifikationen bzw. Anforderungsniveaus abgerufen werden. Auf der Angebotsseite wird auf der Personenebene die Zahl der Erwerbspersonen und auf der Stundenebene das Arbeitsvolumenpotenzial ausgewiesen. Auf der Nachfrageseite wird der Bedarf an Erwerbstätigen bzw. der Bedarf an Arbeitsvolumen aufgeführt, der für die Produktion der nachgefragten Güter bzw. die Bereitstellung der nachgefragten Dienstleistungen benötigt wird. Auch ist es möglich, die beiden Arbeitsmarktseiten gegenüber zu stellen und die möglichen berufsspezifischen Fachkräftesituationen anhand des Fachkräfteindikators zu vergleichen.

Die Ergebnisse der Datenbank-Abfragen werden in Tabellen, Diagrammen und Karten dargestellt. Sie können in unterschiedlichen Datei-Formaten (SVG, PNG, HTML, CSV) heruntergeladen und weiterverwendet werden.

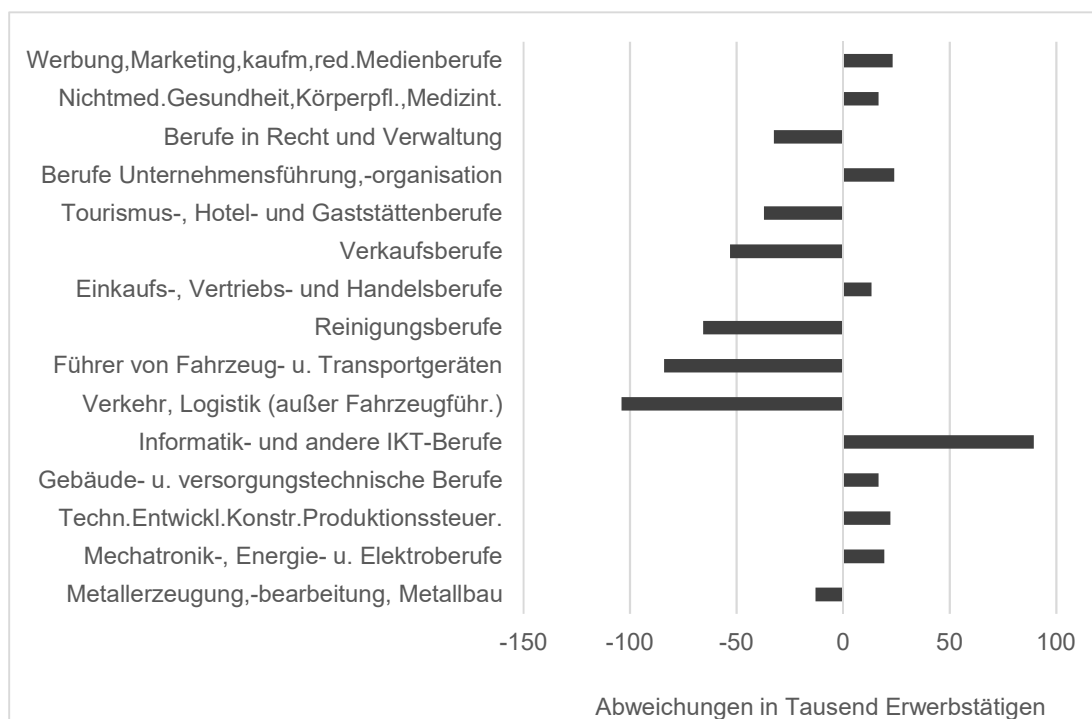
Abbildung 5: Veränderung der Erwerbstätigenanzahl im Vergleich von „Wirtschaft 4.0“-Szenario und QuBe-Basisprojektion



Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Zum stärksten Rückgang an Arbeitsplätzen kommt es vor allem in den Berufshauptgruppen „Verkehr und Logistik“, „Führer von Fahrzeug und Transportgeräten“ sowie bei den „Reinigungsberufen“. In all diesen Berufshauptgruppen finden vergleichsweise monotone Tätigkeiten statt, die gemäß des BIBB-Ersetzbarkeitsmaßes ein hohes Ersetzbarkeitspotenzial durch digitale Innovationen aufweisen (vgl. Kapitel 2). Die Berufshauptgruppe, die am stärksten von der Transformation der deutschen Wirtschaft zu einer Wirtschaft 4.0 profitiert, ist die Berufshauptgruppe Informatik und andere IKT-Berufe. Sowohl die Zugewinne als auch der Abbau von Arbeitsplätzen wird sich vornehmlich in der zweiten Projektionshälfte niederschlagen.

Abbildung 6: Berufshauptgruppen mit den betragsmäßig größten Abweichungen an Erwerbstätigen im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion in 2035



Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Tabelle 1: 20 Berufsgruppen mit der stärksten Erhöhung des Fachkräfteindikators im Vergleich (Vereinfachte Rekrutierung für Arbeitgeber)

Nr.	Berufsgruppe der KldB 2010	FKI 2035 (W4.0 - Basis)	FKI 2030 (W4.0 - Basis)	FKI 2025 (W4.0 - Basis)	FKI 2035 (W4.0 Szenario)	FKI 2030 (W4.0 Szenario)	FKI 2025 (W4.0 Szenario)
512	Überwachung, Wartung der Verkehrsinfrastruktur	6	7	4	39	43	44
531	Objekt-, Personen-, Brandschutz, Arbeitssicherheit	4	3	1	46	48	48
732	Verwaltung	4	3	2	41	45	46
115	Tierpflege	3	3	1	50	52	53
116	Weinbau	3	2	1	40	41	45
623	Verkauf von Lebensmitteln	3	1	0	53	53	53
912	Geisteswissenschaften	3	2	0	69	67	64
821	Altenpflege	3	1	1	50	47	50
112	Tierwirtschaft	2	1	1	39	41	49
621	Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	2	2	2	59	62	63
241	Metallerzeugung	2	1	2	58	59	59
714	Büro und Sekretariat	2	3	2	54	59	60
831	Erziehung, Sozialarbeit, Heilerziehungspflege	2	1	-1	40	41	43
914	Wirtschaftswissenschaften	2	3	1	57	56	54
113	Pferdewirtschaft	2	2	1	56	56	56
633	Gastronomie	2	3	3	61	64	65
121	Gartenbau	2	1	0	54	54	53
513	Lagerwirtschaft, Post, Zustellung, Güterumschlag	2	3	3	58	62	64
733	Medien-, Dokumentations-, Informationsdienste	2	1	1	51	53	53
832	Hauswirtschaft und Verbraucherberatung	2	5	2	60	65	66

Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Tabelle 2: 20 Berufsgruppen mit der stärksten Verringerung des Fachkräfteindikators im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion (Erschwerte Rekrutierungssituation für Arbeitnehmer)

Nr.	Berufsgruppe der KldB 2010	FKI 2035 (W4.0 - Basis)	FKI 2030 (W4.0 - Basis)	FKI 2025 (W4.0 - Basis)	FKI 2035 (W4.0 Szenario)	FKI 2030 (W4.0 Szenario)	FKI 2025 (W4.0 Szenario)
434	Softwareentwicklung und Programmierung	-7	-8	-5	48	48	49
432	IT-Systemanalyse, Anwenderberatung, IT-Vertrieb	-7	-8	-4	40	41	45
431	Informatik	-6	-6	-3	48	48	50
936	Musikinstrumentenbau	-6	-6	-5	59	59	60
433	IT-Netzwerktechnik, -Koordination, -Administration, -Organisation	-5	-6	-4	48	47	49
712	Angeh. Gesetzgeb. Körperschaften, Interessenorganisationen	-5	-5	-2	56	53	53
211	Berg-, Tagebau und Sprengtechnik	-4	-4	-3	60	58	57
921	Werbung und Marketing	-3	-3	-2	52	53	53
933	Kunsth Handwerk und bildende Kunst	-3	-5	-3	53	54	57
271	Technische Forschung und Entwicklung	-3	-3	-2	44	45	47
291	Getränkeherstellung	-2	-3	-1	57	55	56
816	Psychologie, nicht ärztl. Psychotherapie	-2	-1	-1	37	38	39
923	Verlags- und Medienwirtschaft	-2	-4	-1	54	53	54
711	Geschäftsführung und Vorstand	-2	-3	-2	49	50	52
823	Körperpflege	-2	-2	-2	37	40	42
922	Öffentlichkeitsarbeit	-2	-3	-2	49	50	50
924	Redaktion und Journalismus	-2	-3	-1	56	53	52
945	Veranstaltungs-, Kamera-, Tontechnik	-2	-1	-1	56	56	56
931	Produkt- und Industriedesign	-2	-1	-2	50	53	55
232	Technische Mediengestaltung	-2	-3	-1	51	51	52

Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Methodenkasten 5: Indikatoren zur Bestimmung der Fachkräftesituation

Der Indikator zur Fachkräftesituation (*FKI*) berechnet sich gleichgewichtet aus den Volumenindikatoren $VI = (VAI + VRI)$, und den strukturellen Indikatoren ($SKI = QI + SI$):

$$FKI = \underbrace{VAI + VRI}_{VI} + \underbrace{QI + SI}_{SKI}$$

Je höher die jeweiligen Werte sind, desto besser ist die Fachkräftesituation aus Sicht der Arbeitgeber und umgekehrt umso schwieriger aus Sicht der Arbeitnehmer/-innen. Um Veränderungen im zeitlichen Verlauf und zwischen Berufen darstellen zu können, werden die metrischen Werte des Volumens in absoluten (*VA*) und relativen (*VR*) Größen, des beruflichen Qualifikationsangebotes (*Q*) und der Substitutionsmöglichkeit (*S*) in ein Punkteschema übertragen. Dabei erfolgt die Berechnung und die Punktevergabe für die 37 Berufshauptgruppen (*bhg*) und 141 Berufsgruppen (*bg*). So wird bei der Berechnung von *QI* und *SI* auch das Arbeitsangebot aus der übergeordneten Berufshauptgruppe berücksichtigt. Folgende Größen werden für die Berechnung verwendet (das Subscript *beruf* steht platzhaltend für *bhg* und *bg*) und entsprechend einem Punktesystem für *VAI*, *VRI*, *QI* und *SI* zugeordnet:

$$VA_{beruf} = \text{Arbeitsvolumenpotenzial (in Mio. Stunden)}_{beruf} - \text{Arbeitsvolumen (in Mio. Stunden)}_{beruf}$$

Ist $VA_{beruf} < -100$ Mio. Stunden, wird in VAI_{beruf} ein Punkt vergeben. Ist $VA_{beruf} \geq 350$ Mio. Stunden, werden 20 Punkte vergeben. Zwischen den beiden festgelegten Extremwerten werden die Punkte in Intervallen von 25 Mio. Stunden (ca. 17.000 Vollzeitkräfte) aufsummiert.

$$VR_{beruf} = \left(\left(\frac{\text{Arbeitsvolumenpotenzial (in Mio. Stunden)}_{beruf}}{\text{Arbeitsvolumen (in Mio. Stunden)}_{beruf}} \right) - 1 \right) * 100$$

Wenn $VR_{beruf} < -14\%$ ist, erhält VRI_{beruf} den Wert 1. Alle 1,5 Prozentpunkte wird VRI_{beruf} um einen Punkt erhöht. Bei Werten $VR_{beruf} \geq 28\%$ ist $VRI_{beruf} = 30$. Bei der Punktevergabe der Volumenindikatoren wird somit der relativen Betrachtung (VR_{beruf}) eine höhere Bedeutung beigemessen als der absoluten (VA_{beruf}), da sie eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Berufen ermöglicht. Durch das Hinzuziehen der absoluten Betrachtungsweise werden beschäftigungsstarke Berufe aber stärker gewichtet.

$$Q_{beruf} = \frac{\text{Anzahl Erwerbspersonen mit berufsspezifischem Abschluss}_{beruf}}{\text{Anzahl Erwerbstätige}_{beruf}}$$

Für QI_{beruf} wird Q_{beruf} in 25 Intervalle mit dem Faktor 0,08 unterteilt, denen jeweils ein Punkt zugeschrieben wird. $QI_{beruf} = 1$, wenn $Q_{beruf} < 0,08$. $QI_{beruf} = 25$, wenn $Q_{beruf} \geq 12,5$.

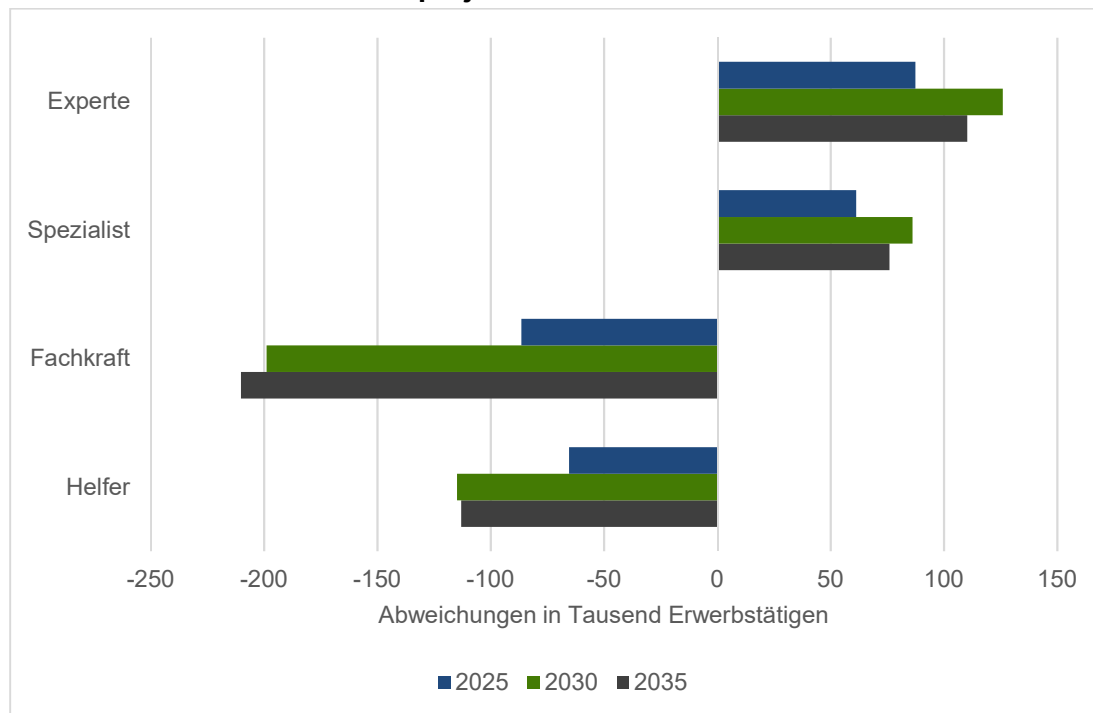
$$S_{beruf} = \left(1 - \frac{\text{Anzahl Erwerbspersonen mit berufsspezifischem Abschluss im Beruf}_{beruf}}{\text{Anzahl Erwerbspersonen}_{beruf}} \right) * 100$$

S_{beruf} liegt zwischen 0 und 100%. Dieser Wertebereich wird in 25 Intervalle mit einer Spanne von jeweils 4 Prozentpunkten unterteilt. Jedem Intervall wird ein Punkt in SI_{beruf} zugeschrieben. $SI_{beruf} = 1$ wenn $S_{beruf} < 4\%$. $SI_{beruf} = 25$ wenn $S_{beruf} \geq 96\%$.

Bei der Berechnung auf Berufsgruppenebene berechnet sich $QI_{bg}^* = \left(\frac{1}{3}\right) QI_{bg} + \left(\frac{2}{3}\right) QI_{bhg}$ und $SI_{bg}^* = \left(\frac{1}{3}\right) SI_{bg} + \left(\frac{2}{3}\right) SI_{(bhg)_{bg}}$. Eine detaillierte Beschreibung der Berechnungsweisen mit Begründung findet sich unter [#LINK](#).

Infolge des branchen- und berufsspezifischen Strukturwandels ergeben sich auch neue Anforderungen am Arbeitsplatz, die sich auf die Nachfrage nach Anforderungsniveaus insgesamt auswirkt. So wirkt sich der Effekt der Digitalisierung am stärksten auf die Nachfrage nach fachlich ausgebildeten Arbeitskräften aus. Hingegen steigt der Bedarf an Spezialisten und Experten an (Abbildung 7).

Abbildung 7: Zahl der Erwerbstätigen nach Anforderungsniveaus im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion



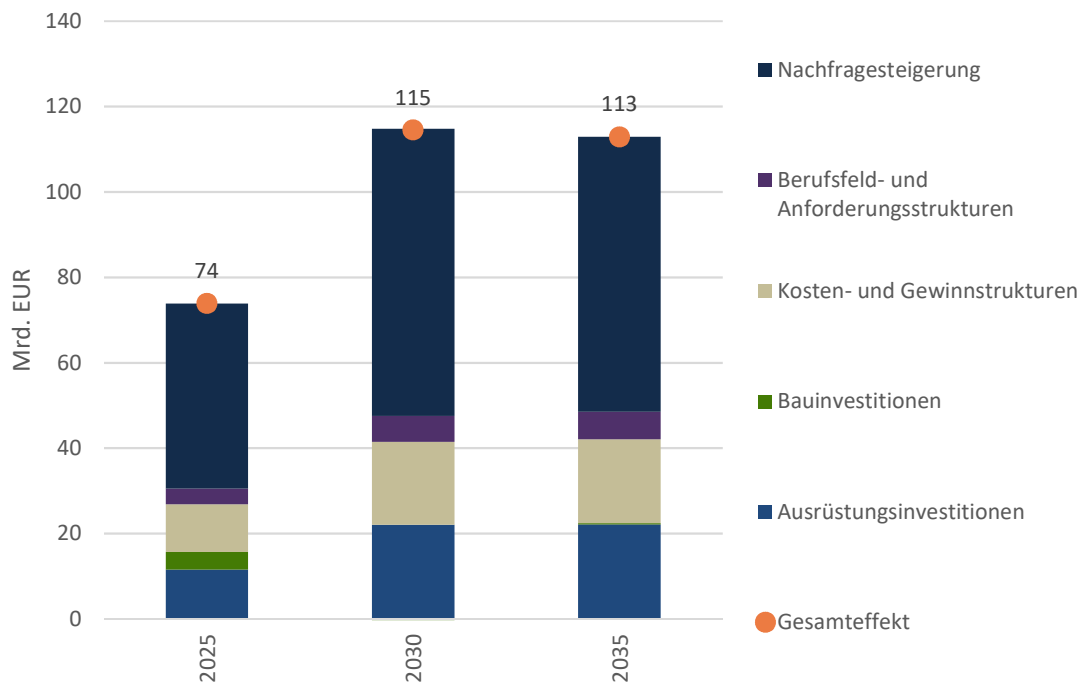
Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Die dargestellten Ergebnisse kommen aufgrund der getroffenen Annahmen (1-17) zustande und bilden einen in sich konsistenten Entwicklungspfad ab. Sie sind – sofern Forschungserkenntnisse vorliegen – anhand empirischer Erkenntnisse abgeleitet bzw. wurden unter Einbeziehung einer Vielzahl an Informationen plausibilisiert. Dennoch wären für die Modellierung aber auch andere Parametereinstellungen denkbar. Diese werden im darauffolgenden Kapitel diskutiert.

3.2 Diskussion

Die im vorangehenden Abschnitt 3.1 vorgestellten Ergebnisse sind entscheidend durch die zugrunde gelegten Annahmen bedingt. Um die Sensitivität der Ergebnisse hinsichtlich dieser Annahme besser beurteilen zu können, werden die Auswirkungen der einzelnen Annahmen auf das Gesamtergebnis in diesem Abschnitt näher beleuchtet. Dazu erfolgt zunächst eine Darstellung der Ergebnisse getrennt nach einzelnen Annahmebündeln bzw. Teilschritten (vgl. Abbildung 1). Daran anschließend werden zentrale Annahmen variiert und die Auswirkung dieser Variation auf das Gesamtergebnis diskutiert.

Abbildung 8: Einfluss der Teilschritte (Annahmenbündel) auf das Bruttoinlandsprodukt



Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

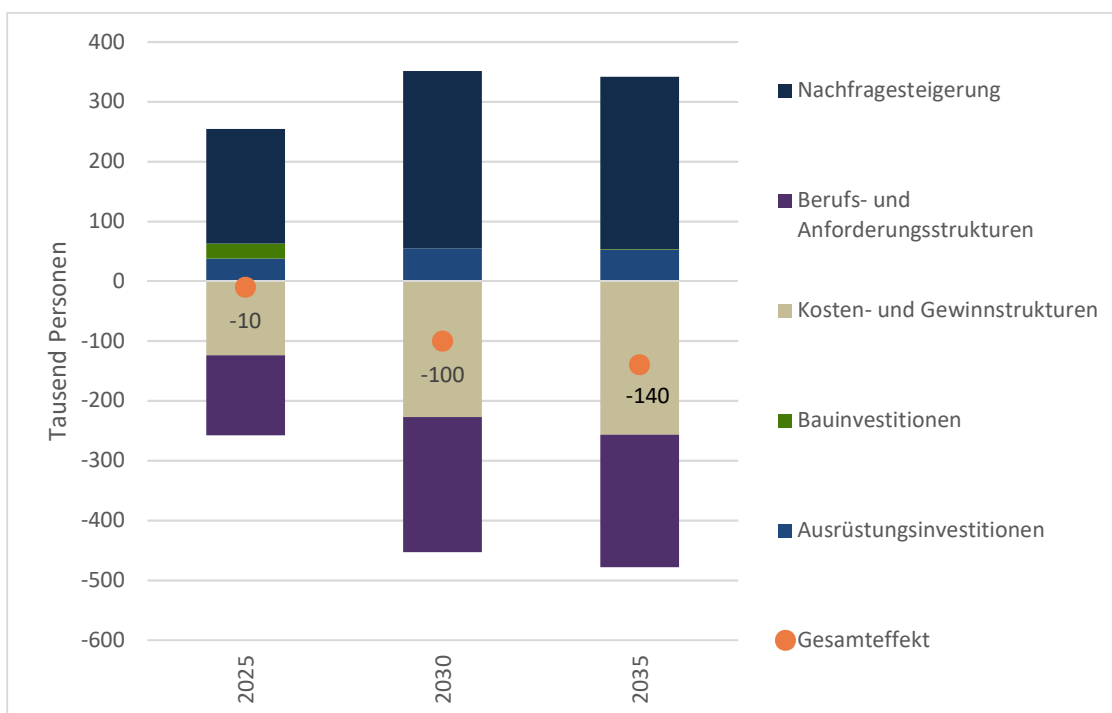
Abbildung 8 gibt den Einfluss der einzelnen Teilschritte (Annahmenbündel) auf das Bruttoinlandsprodukt wieder. Dabei zeigt sich, dass alle Teilschritte das Bruttoinlandsprodukt erhöhen, da sie die Konjunktur beschleunigen. Die Bauinvestitionen für ein „schnelles Internet“ haben nur einen mittelfristigen Effekt. Die Veränderung der „Berufs- und Anforderungsstruktur“ ebenfalls. Obwohl in diesem Teilschritt die Lohnsummen insgesamt nicht steigen, verändert sich die Einkommensstruktur hin zu tendenziell höher qualifizierten und damit besser entlohnerten Berufen. Dadurch verändert sich die Einkommens- und Konsumstruktur der privaten Haushalte, die die Produktnachfrage erhöht sich.

Die postulierte Nachfragesteigerung im letzten Teilschritt zeigt den mit Abstand größten Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt. Damit zeigt sich, dass mit dieser Annahme auch eine stärkere Unsicherheit verbunden ist. Sollte es Deutschland nicht gelingen eine Vorreiterrolle beim Wandel hin zu einer Wirtschaft 4.0 einzunehmen und dadurch an internationaler Wettbewerbsfähigkeit einbüßen, fallen die Wachstumseffekte einer zunehmenden Digitalisierung geringer aus als im Szenario dargestellt.

Wie Abbildung 9 zeigt, wirken sich die durchweg positiven Effekte der Teilszenarien unterschiedlich auf die Erwerbstätigkeit aus. In der Investitionsphase werde zunächst mehr Erwerbstätige benötigt, um die notwendige Technik und Infrastruktur bereitzustellen. In den nachfolgenden Veränderungen der Kosten- und Gewinnstruk-

tur und Anpassungen der Berufs- und Anforderungsstruktur werden hingegen Arbeitsplätze abgebaut. Allein die zunehmende Arbeitsproduktivität verringert die Anzahl an Arbeitsplätzen im Szenario um rund 260 000 in 2035 (- 230 000 in 2030). Die veränderte Berufsstruktur hin zu Berufen mit höheren Kreativitäts- und Interaktionsanforderungen und weniger monotonen Arbeitsabläufen verringert die Arbeitsnachfrage um weitere 220 000 Personen in 2035 (- 230 00 in 2030). Ab 2025 übersteigen die negativen Effekte der Veränderung der Berufs- und der Kosten- und Gewinnstruktur die positiven Arbeitsmarkteffekte der anderen Teilschritte. Wie ersichtlich hat auch hier die unterstellte Nachfragesteigerung den stärksten Effekt. Gelingt es durch einen Wandel hin zu einer Wirtschaft 4.0 eine internationale Vorreiterrolle einzunehmen und dadurch den nationalen und internationalen Konsum zu steigern, können rund 290 000 Arbeitsplätze in 2035 hinzugewonnen werden (300 000 in 2030). Nimmt man somit an, dass es zu keinen Nachfragesteigerungen kommt, würde sich der gesamtwirtschaftliche Verlust an Arbeitsplätzen im Vergleich zur Basisprojektion nicht auf 140 000, sondern auf rund 430 000 Stellen in 2035 belaufen.

Abbildung 9: Zerlegung der Auswirkung der einzelnen Teilszenarien auf die Zahl der Erwerbstätigen



Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Die vorgelegte Studie geht davon aus, dass Berufe unterschiedlich stark durch Maschinen und Algorithmen ersetzt werden können. Zur Ermittlung, welche Berufe ersetzbar sind und damit besonders von der Digitalisierung betroffen sein könnten, wird auf ein vom BIBB ermitteltes Ersetzbarkeitspotenzial zurückgegriffen (siehe Methodenkaste 3: „Das BIBB-Ersetzbarkeitsmaß“). Dabei gibt es unterschiedliche

Ansätze sich der Programmier- und Ersetzbarkeit von beruflichen Aufgaben anzunähern (z.B. Bonin u.a. 2015, Brzeski und Burk 2015, Dengler und Matthes 2015, Pfeiffer und Suphan 2015, Tiemann 2016). In Wolter u.a. (2016) wurde für das Wirtschaft 4.0-Szenario das Automatisierungspotenzial von Dengler und Matthes (2015) in die Berechnungen eingebunden und ausgewiesen. Dieses Maß gibt Auskunft darüber, welcher Anteil der in einem Beruf typischerweise zu erledigenden Aufgaben 2013 bereits durch Computer hätte erledigt werden können. Dazu wurde recherchiert, ob Tätigkeiten – die in der Expertendatenbank BERUFENET der Bundesagentur für Arbeit für die Beschreibung der zu erledigenden Arbeitsaufgaben verwendet werden – vollständig von Maschinen, Robotern oder Computerprogrammen übernommen werden könnten. Dieser Desk-Research wurde für das Jahr 2016 wiederholt (Dengler und Matthes 2018). Nimmt man unter sonst gleichen Annahmen das von Dengler und Matthes (2018) ausgewiesene Automatisierbarkeitspotenzial anstelle des BIBB-Ersetzbarkeitspotenzials, zeigt sich eine größere berufliche Umwälzung am Arbeitsmarkt. So würden durch die Digitalisierung der Wirtschaft in 2030 rund 850 000 Arbeitsplätze (im Vergleich zu 570 000) neu entstehen und 930 000 Arbeitsplätze (im Vergleich zu 670 000) wegfallen, womit es zu einer Verschiebung von rund 3,9 Prozent (1,78 Mio. von 45,2 Mio. Arbeitsplätzen) der Arbeitsplätze kommen würde (zum Vergleich: 1,24 Mio. bzw. 2,7% im dargestellten Szenario). Der Netto-Arbeitsplatzrückgang beläuft sich hingegen „nur“ auf 80 000 Arbeitsplätze in 2030 und auf 120 000 Arbeitsplätzen in 2035. Dieser Unterschied kann – sehr stark verkürzt – auf die Berufsgruppe „(521) Fahrzeugführung im Straßenverkehr“ zurückgeführt werden. Das BIBB-Ersetzbarkeitsmaß geht hier aufgrund der Monotonie und geringen Kreativitäts- und Interaktionsanforderungen von einer höheren Ersetzbarkeit aus, als das Automatisierungspotenzial von Dengler und Matthes (2018). In der Tendenz zeigt sich bei Dengler und Matthes auch ein stärkerer Rückgang in den Produktionsberufen und den fachlichen Tätigkeiten im Bürobereich. Obwohl beide Ansätze zur Erfassung des Potenzials an Programmierbarkeit ähnliche Entwicklungen aufzeigen, unterschieden sie sich im Ergebnis hinsichtlich der Menge an Arbeitsplätzen, die durch einen Wandel hin zu einer Wirtschaft 4.0 betroffen sind. Wie eine Projektion selbst, kann auch die Abschätzung eines Ersetzbarkeitspotenzials durch Roboter und digitale Innovationen nur eine Annäherung an die tatsächliche zukünftige Arbeitswelt darstellen. Diese Annäherung kann nur unter dem derzeit bekannten Wissen erfolgen. Durch die Kenntnis des technologisch Möglichen können zwar Hinweise über die Veränderung der Tätigkeitsnachfrage, nicht aber über das Ende der Arbeit abgeleitet werden. Eine Vielzahl an Faktoren, wie z.B. betriebswirtschaftliche Überlegungen, die Gestaltung rechtlicher Rahmenbedingungen oder die menschliche Akzeptanz von neuen Technologien, wird die Diffusion von Technologien sowie deren Komplementarität und Substitution zur menschlichen Arbeit bestimmen. Aufgrund des Hinzuziehens betrieblicher Brancheninformationen in der Ersetzbarkeit von Arbeitsaufgaben durch Technologien bietet das BIBB-Ersetzbarkeitsmaß für die vorliegende Fragestellung eine differenziertere Annäherung an die mögliche zukünftige Ersetzbarkeit von Tätigkeiten.

Kritisch zu prüfen sind zudem Annahmen, die vor dem Hintergrund fehlender Erkenntnisse plausibilisiert werden mussten. Während von vielfältigen Seiten der Bedarf von Weiterbildungsleistungen bei neuen Technologien betont wird, ist es relativ unklar, wie viele Personen in den Betrieben sich tatsächlich einer zusätzlichen Weiterbildung unterziehen werden. Denkbar wäre z.B. auch, dass sich die Kosten und Teilnahmequoten an Weiterbildungen nicht verändern, die zur Verfügung stehenden Ressourcen für Weiterbildung aber anders eingesetzt werden. Um die Auswirkungen unserer Setzung, dass rund 80 Prozent der Beschäftigten bis 2030 an einer zusätzlichen Weiterbildung im Kontext der Digitalisierung teilnehmen werden (siehe Erläuterungen zur Annahme 7), besser beurteilen zu können, nehmen wir in einer Sensitivitätsanalyse an, dass nur 40 Prozent der Beschäftigten zusätzlich geschult werden. Es zeigt sich, dass die gesamtwirtschaftliche Beschäftigung mit dieser Einstellung um rund 8 000 Erwerbstätige in 2030 zurückgeht. Der Einfluss der Weiterbildungsmaßnahmen auf das Gesamtergebnis ist somit gering. Mit rund 2 000 Erwerbstätigen ist die Auswirkung für die Berufsgruppe „(844) Lehrtätigkeit an außerschulischen Bildungseinrichtungen“ hingegen etwas größer.

Die mit diesem Bericht vorgelegten Ergebnisse stellen bereits die dritte Berechnung eines Industrie 4.0 (Wolter u.a. 2015a) bzw. Wirtschaft 4.0-Szenarios (Wolter u.a. 2016) im Rahmen des QuBe-Projekts dar. Aufgrund der neuen Datenquellen, veränderten Annahmen (z.B. angestrebter Umsetzungszeitraum einer Wirtschaft 4.0, Modellierung der Ersetzbarkeiten) und Änderungen an der Methodik (141 Berufsgruppen im Vergleich zu 50 BIBB-Berufsfeldern) sind die Ergebnisse dieses Berichts nicht direkt mit den vorherigen Ergebnissen vergleichbar und dementsprechend auch nicht als Ersatz der existierenden Studien zu sehen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass auch im Referenzszenario, der QuBe-Basisprojektion, veränderte Rahmenbedingungen (z.B. eine nun steigende Bevölkerungsanzahl) erkennbar werden.

4 Arbeitswelt Wirtschaft 4.0

Tabelle 3 enthält die Kenngrößen der ökonomischen Entwicklung, die zu den Ergebnissen des Arbeitsmarkts in wechselseitiger Beziehung stehen.

Langfristig wird demnach das Wirtschaftswachstum in Deutschland auf unter ein Prozent zurückgehen. Mitverantwortlich für die schwächer werdende Wachstumsdynamik ist der einsetzende Rückgang des Arbeitskräfteangebots, der auch durch Produktivitätssteigerungen nicht gänzlich kompensiert werden kann.

Der Konsum der privaten Haushalte wird wegen der nach 2028 zurückgehenden Bevölkerungszahl an Dynamik verlieren. Zudem wird die Exportentwicklung sich entsprechend der Modellrechnungen mit TINFORGE⁸ zur Entwicklung des Welthan-

⁸ Zur Modellierung siehe Wolter u.a. (2014)

dels verlangsamten. Zwar kann der Außenhandel mittelfristig weiter positiv zum Gesamtwachstum beitragen, langfristig wird sich der positive Wachstumsbeitrag des Außenhandels aber nicht aufrechterhalten lassen und zum Ende der Projektion negativ werden. Zwar mildert die Annahme, dass Deutschland bei der Digitalisierung eine Vorreiterrolle einnimmt diesen Trend etwas ab, der Effekt reicht jedoch nicht aus, um den langfristigen Rückgang des Außenbeitrags zu verhindern. Dennoch bleibt der Außenbeitrag positiv und verweilt, verglichen mit anderen Industrieländern, auf einem außerordentlich hohen Niveau.

Tabelle 3: Entwicklung der Verwendungsseite des Bruttoinlandsprodukts und ausgewählter Arbeitsmarktgrößen 2005-2035

	Jahr						
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
BIP in Mrd. Euro (preisbereinigt, Basis 2010)	2426,5	2580,1	2800,9	3105,6	3270,7	3431,5	3528,2
BIP pro Kopf (preisbereinigt, Basis 2010)	29833,2	32136,6	34288,3	37182,5	38788,5	40654,9	41942,9
Konsum des Staates in Mrd. Euro (preisbereinigt, Basis 2010)	446,3	493,3	532,7	599,2	654,4	691,3	725,0
Konsum privater Haushalte in Mrd. Euro (preisbereinigt, Basis 2010)	1332,7	1372,9	1452,9	1587,4	1682,1	1780,9	1859,0
Bauinvestitionen in Mrd. Euro (preisbereinigt, Basis 2010)	228,9	237,1	256,8	284,9	268,3	255,0	248,2
Exporte (preisbereinigt, Basis 2010)	866,5	1067,0	1333,1	1588,9	1824,2	2102,5	2367,1
Importe (preisbereinigt, Basis 2010)	719,0	898,8	1087,9	1335,5	1569,8	1851,1	2147,5
Bevölkerung in Mio. Personen	81,3	80,3	81,7	83,5	84,3	84,4	84,1
Erwerbsbevölkerung in Mio. Personen ¹	59,5	57,4	57,8	58,9	58,5	57,3	55,4
Erwerbspersonen in Mio. Personen	43,7	43,8	44,9	46,5	46,8	46,3	45,5
Erwerbstätige in Mio. Personen	39,3	41,0	43,1	45,5	45,8	45,1	44,3
Erwerbstätigenquote ²	66,1	71,4	74,5	77,3	78,3	78,7	80,0
Erwerbslose in Mio. Personen	4,506	2,8	1,9	1,1	1,1	1,3	1,3
Arbeitsvolumen in Mrd. Stunden	55,5	57,0	58,9	61,3	60,9	60,7	60,5
Arbeitsvolumenpotenzial in Mrd. Stunden	70,7	64,9	63,4	65,7	66,2	65,5	64,6
Entwicklung des Stundenlohnes (Basis 2010) ³	92	100	115	134	151	166	182
Jahresarbeitszeit in Stunden	1323,5	1309,6	1301,5	1275,2	1259,5	1275,1	1295,3

¹ Bevölkerung im Alter von 15 bis unter 70 Jahre

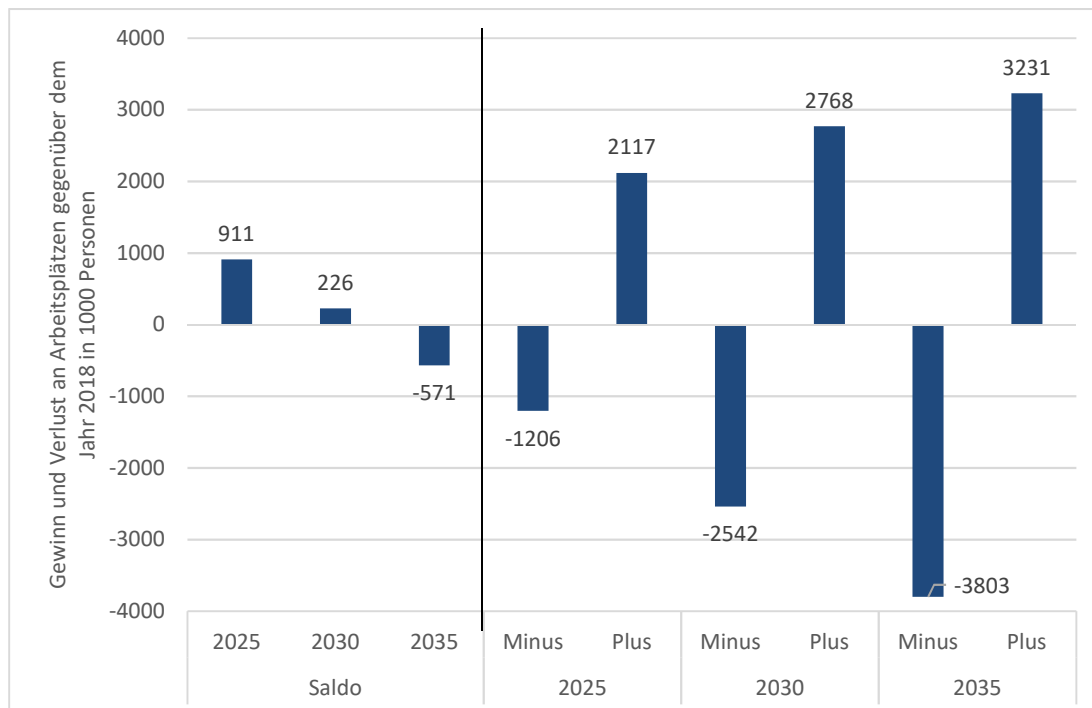
² Erwerbstätige bezogen auf die erwerbsfähige Bevölkerung

³ Stundenlohn ist nicht preisbereinigt

Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Die Bauinvestitionen werden nach ihrer gegenwärtigen Boomphase langfristig wieder zurückgehen. Zwar werden weiterhin viele neue Wohnungen gebaut, die Anzahl der Neubauten wird aber über die Jahre abnehmen. Wie bereits beschrieben lässt das Wirtschaftswachstum zwar im Projektionszeitraum nach, die Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts pro Kopf verweilen dennoch auf einem höheren Niveau, da sich das Bruttoinlandsprodukt auf eine abnehmende Bevölkerungszahl verteilt.

Abbildung 10: Nicht mehr vorhandene und neu entstandene Arbeitsplätze im Vergleich zum Jahr 2018



Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Vergleicht man die Arbeitslandschaft im Wirtschaft 4.0-Szenario auf der Ebene von 63 Wirtschaftszweigen, 141 Berufsgruppen und 4 Anforderungsniveaus mit der Arbeitslandschaft im Jahr 2018 (Abbildung 10), können die Umwälzungen auf Arbeitsebene angenähert werden. Es zeigt sich, dass sich die beiden Arbeitswelten („Wirtschaft 4.0 im Jahr 2030“ vs. „Arbeitswelt 2018“) hinsichtlich ihrer Branchen-, Berufs- und Anforderungsstruktur deutlich voneinander unterscheiden. In der digitalisierten Welt wird es im Jahr 2030 einerseits 2 542 000 Arbeitsplätze, die nach der Basisprojektion noch vorhanden sein werden, nicht mehr geben. Andererseits werden im Wirtschaft 4.0-Szenario ebenfalls 2 768 000 Arbeitsplätze entstanden sein, die in der Basisprojektion nicht existieren werden. Zusammengefasst unterscheidet sich der Charakter der Arbeitslandschaft im „Wirtschaft 4.0“-Szenario um rund 11,7 Prozent (= 5,2 Mio. von 45,2 Mio. Arbeitsplätzen) von der Arbeitslandschaft in 2018.

5 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie untersucht die Wirkungen der Einführung einer Wirtschaft 4.0 auf die Gesamtwirtschaft und den Arbeitsmarkt in Deutschland. Dabei werden im Rahmen einer Szenarien-Analyse unterschiedliche Arbeitswelten miteinander verglichen. Als Vergleichsgröße dient hierbei die QuBe-Basisprojektion der fünften Welle aus dem Jahr 2018. Das Wirtschaft 4.0 Szenario wurde auf Grundlage von (Wolter u.a. 2016) weiterentwickelt und an neu hinzugewonnene Erkenntnisse angepasst

(siehe Abschnitt 1 und 2.2). So wird im Gegensatz zu den vorherigen Veröffentlichungen von einer längeren Umsetzungsphase einer „Wirtschaft 4.0“ ausgegangen (bis in 2030 anstelle 2025), um einer verzögerten Umsetzung von Wirtschaft 4.0 Rechnung zu tragen. Als weitere Neuerung konnte durch die Umstellung von 50 BIBB-Berufsfeldern auf 141 Berufsgruppen nach der KldB 2010 eine Erhöhung des fachlichen Detailgrades erreicht werden. Zudem erlaubt die Verwendung des empirisch basierten BIBB-Ersetzbarkeitspotentials eine Differenzierung des Ersetzbarkeitspotentials auf Berufsebene zwischen Branchen.

Werden sämtliche Annahmen in die Betrachtung mit einbezogen, wird sich eine im Jahr 2030 bzw. 2035 digitalisierte Arbeitswelt („Wirtschaft 4.0“ vs. „QuBe-Basisprojektion“) von einer Welt die sich an historisch beobachtbaren Entwicklungen orientiert, deutlich unterscheiden. Es zeigt sich, dass im Jahr 2030 rund 100 000 Erwerbstätige (bzw. 140 000 im Jahr 2035) weniger als in der QuBe-Basisprojektion benötigt werden. Bezogen auf die 45,1 Mio. Erwerbstätige in der QuBe-Basisprojektion in 2030 (44,3 Mio. in 2035) erscheint dies gering. Zudem zeigt sich bei einem Vergleich der Arbeitslandschaft im Jahr 2030 bzw. 2035 mit der heutigen Situation im Jahr 2018, dass sich die Arbeitslandschaften sehr stark unterscheiden. Im Wirtschaft 4.0-Szenario werden auf der einen Seite 2 542 000 Arbeitsplätze wegfallen und gleichzeitig 2 768 000 Arbeitsplätze entstehen. Dies entspricht einer Gesamtveränderung der Arbeitslandschaft von 11,7 Prozent der Arbeitsplätze (5,2 Mio. von 45,2 Mio. Arbeitsplätzen).

Zwar zeigt sich, dass die ermittelten Effekte auf den Arbeitsmarkt zwischen verschiedenen Ersetzbarkeitspotentialen variieren, dennoch bekräftigen die Ergebnisse die bereits in (Wolter u.a. 2016) ermittelten Effekte der Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt in Deutschland. Dabei geht die Digitalisierung vor allem mit einer Verschiebung der Berufsstruktur einher, die aus der Entstehung und dem Verschwinden von Arbeitsplätzen in Folge der Digitalisierung resultieren. Der Verlust an Arbeitsplätzen insgesamt fällt dagegen verhältnismäßig gering aus. Auch Warning und Weber (2018) kommen in einer Untersuchung der Digitalisierungswirkungen auf betrieblicher Ebene zu dem Ergebnis, dass Entlassungen zwar tendenziell zunehmen, aufgrund ebenso erhöhter Einstellungen aber der Beschäftigungsstand nicht sinkt. Genauso ergeben sich Verschiebungen hin zu höheren Qualifikationen. Zu einem mit der vorliegenden Studie vergleichbaren Ergebnis kommen auch Arntz u.a. (2018). Allerdings wirkt sich bei Arntz u.a. (2018) der Gesamteffekt der Digitalisierung schwach positiv auf die Erwerbstätigkeit aus. Der Grund hierfür kann in unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Ersetzbarkeit von Tätigkeiten und einem kürzeren Projektionszeitraum in (Arntz u.a. (2018)) gesehen werden. In der mittleren Frist wirken sich dabei insbesondere die notwendigen Investitionen zur Umsetzung der Wirtschaft 4.0 positiv auf die Beschäftigung aus.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeichnen zwar gegenüber den in der öffentlichen Debatte häufig geäußerten Befürchtungen von massiven Arbeitsverlusten in Folge der Digitalisierung ein optimistischeres Bild, sollten aber vor dem Hintergrund

umfassender struktureller Veränderungen nicht darüber hinwegtäuschen, dass umfassende Anstrengungen notwendig sind, um die Erwerbspersonen auf die neuen Herausforderungen vorzubereiten. Dies betrifft insbesondere Investitionen in die Weiterbildung.

Zudem basieren die hier vorgestellten Ergebnisse auf einer annahmengestützten Analyse. Beispielsweise gehen wir davon aus, dass Deutschland eine Vorreiterrolle in der Umsetzung von Wirtschaft 4.0 Technologien einnimmt, womit eine Nachfragesteigerung aus dem Ausland aufgrund des Wettbewerbsvorteils verbunden ist. Die Sensitivitätsanalysen in Abschnitt 3.2 zeigen, dass diese Annahme den stärksten Einfluss auf das Bruttoinlandsprodukt entfaltet. Schreiten dagegen andere Länder in der Umsetzung der Wirtschaft 4.0 schneller voran, würde Deutschland an internationaler Wettbewerbsfähigkeit einbüßen und sich die positiven Nachfrageeffekte ins Gegenteil umkehren. Die Folge wären stärkere negative Effekte der Digitalisierung auf den deutschen Arbeitsmarkt. Es ist daher unerlässlich die notwendigen Maßnahmen zur Sicherung der Vorreiterrolle Deutschlands bei der Digitalisierung – wie den Ausbau des schnellen Internets – zügig voranzutreiben. Darüber hinaus sollten sich nachfolgende Untersuchungen dennoch eingehender mit der Frage beschäftigen, wie sich die Umsetzung von Wirtschaft 4.0 in anderen Regionen der Welt auf die deutsche Wirtschaft auswirkt.

Die Umsetzung von Wirtschaft 4.0 befindet sich noch in der Anfangsphase und wird noch einige Jahre in Anspruch nehmen. Erst im Verlauf dieses Prozesses wird es möglich sein, Aussagen darüber zu treffen, inwieweit vorhandene Ersetzbarkeitspotentiale von den Betrieben auch tatsächlich genutzt werden. Mögliche Hemmnisse können beispielsweise rechtliche und/oder betriebswirtschaftlichen Beschränkungen sein. Es ist daher erforderlich, die hier vorgestellten Ergebnisse regelmäßig an neue Forschungserkenntnisse anzupassen und somit die Grundlage für ein steuerndes Eingreifen zu schaffen.

Anhang

Tabelle 4: Zuordnung der Wirtschaftszweige zu den Branchengruppen.

WZ Zweisteller	Bezeichnung des Wirtschaftszweiges	Branchengruppe
1	Landwirtschaft	5
2	Forstwirtschaft	5
3	Fischerei	5
5-9	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	5
10-12	H.v. Nahrungsmitteln u. Getränken, Tabakverarb.	6
13-15	H.v. Textilien, Bekleidung, Lederwaren u. Schuhen	6
16	H.v. Holz-, Flecht-, Korb- u. Korkwaren (oh. Möbel)	2
17	H.v. Papier, Pappe und Waren daraus	2
18	H.v. Druckerzgn., Vervielfält. v. Ton-,Bild-,Datenträgern	3
19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	3
20	H.v. chemischen Erzeugnissen	3
21	H.v. pharmazeutischen Erzeugnissen	3
22	H.v. Gummi- und Kunststoffwaren	3
23	H.v. Glas-, -waren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	4
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	3
25	H.v. Metallerzeugnissen	3
26	H.v. DV-Geräten, elektron. u. optischen Erzeugnissen	2
27	H.v. elektrischen Ausrüstungen	2
28	Maschinenbau	2
29	H.v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	2
30	Sonstiger Fahrzeugbau	2
31-32	H.v. Möbeln u. sonstigen Waren	5
33	Rep. u. Installation v. Maschinen u. Ausrüstungen	2
35	Energieversorgung	3
36	Wasserversorgung	3
37-39	Abwasser-, Abfallentsorgung, Rückgewinnung	3
41-43	Baugewerbe	6
45	Kfz-Handel, Instandhaltung u. Rep. v. Kfz	3
46	Großhandel (oh. Handel mit Kfz)	3
47	Einzelhandel (oh. Handel mit Kfz)	4
49	Landverkehr u. Transport in Rohrfernleitungen	5
50	Schifffahrt	5
51	Luftfahrt	5
52	Lagerei, sonst. Dienstleister f.d. Verkehr	5
53	Post-, Kurier- und Expressdienste	5
55-56	Gastgewerbe	4
58	Verlagswesen	1
59-60	Audiovisuelle Medien und Rundfunk	1
61	Telekommunikation	1
62-63	IT- und Informationsdienstleister	1
64	Finanzdienstleister	2
65	Versicherungen und Pensionskassen	2
66	Mit Finanz- und Versicherungsdienstl. verb. Tätigkeiten	2
68	Grundstücks- und Wohnungswesen	5
69-70	Rechts- u. Steuerberatung, Unternehmensberatung	2
71	Architektur- u. Ing.büros, techn. Untersuchung	3
72	Forschung und Entwicklung	1
73	Werbung und Marktforschung	1
74-75	Freiberufl., wiss., techn. DL a.n.g., Veterinärwesen	4
77	Vermietung von beweglichen Sachen	4
78	Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	2
79	Reisebüros und -veranstalter	4
80-82	Unternehmensdienstleister a.n.g.	4
84	Öff. Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	3
85	Erziehung und Unterricht	4
86	Gesundheitswesen	2
87-88	Heime und Sozialwesen	4
90-92	Kunst und Kultur, Glücksspiel	5
93	Sport, Unterhaltung und Erholung	5
94	Interessenvertretungen, religiöse Vereinigungen	3
95	Rep. v. DV-Geräten u. Gebrauchsgütern	2
96	Sonstige überwiegend persönl. Dienstleister	6
97-98	Häusliche Dienste	6

Quelle: QuBe-Projekt, fünfte Welle, „Wirtschaft 4.0“-Szenario.

Literaturverzeichnis

- ALMON, CLOPPER: The Inforum Approach to Interindustry Modeling In: Economic Systems Research, 3 (1991) 1
- ARNTZ, MELANIE; GREGORY, TERRY; ZIERAHN, ULRICH: Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen. Mannheim 2018.
- BDI, BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E.V.: Finanzierung von Industrie 4.0. 2017. - URL: <https://bdi.eu/artikel/news/finanzierung-von-industrie-40/>
- BIERMANN, KAI; KLORMANN, SYBILLE: Cyber-Kommando der Bundeswehr - Freiwillige und Nerds – was ist das für eine Truppe?. 05. April 2017. 2017. - URL: <https://www.zeit.de/digital/internet/2017-04/cyber-armee-bundeswehr-ursula-von-der-leyen>
- BITKOM: Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Studie. 2014.
- BITKOM: Industrie 4.0: Jede vierte Maschine ist smart. 2018. - URL: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Industrie-40-Jede-vierte-Maschine-ist-smart.html>
- BMVG, BUNDESMINISTERIUM DER VERTEIDIGUNG: Bundeswehr schützen und Fähigkeiten weiterentwickeln. 2018. - URL: <https://www.bmvg.de/de/themen/cybersicherheit/cyber-verteidigung/entwicklung-des-org-bereich-bei-der-bw/bundeswehr-schuetzen-und-faehigkeiten-weiterentwickeln-12050>
- BMVI: Zukunftsoffensive Gigabit - Deutschland. Offensive der Netzallianz zum Ausbau gigabitfähiger konvergenter Netze bis 2025. 2017.
- BONIN, HOLGER; GREGORY, TERRY; ZIERAHN, ULRICH: Kurzexpertise Nr. 57. Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. Mannheim 2015.
- BRZESKI, CARSTEN; BURK, INGA: Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt. In: ING DiBa Economic Research (2015)
- DENGLER, KATHARINA; MATTHES, BRITTA: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. In: IAB-Forschungsbericht 11/2015 (2015)
- DENGLER, KATHARINA; MATTHES, BRITTA: Substituierbarkeitspotenziale von Berufen. Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt. In: IAB-Kurzbericht, 4/2018 (2018)
- FISCHER, HARTMUT u.a.: Wachstums- und Beschäftigungsimpulse rentabler Dematerialisierung. In: (Hrsg.): Ressourcenproduktivität als Chance - Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland Aachen 2005, S. 31 - 48
- FREY, C. B.; OSBORNE, M.A.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? . In: Technological Forecasting and Social Change, 114 (2013), S. 254-280
- GERHARDS, CHRISTIAN; FRIEDRICH, ANETT: BIBB-Qualifizierungspanel 2016. In: BIBB-FDZ - Daten- und Methodenberichte, 1/2018 (2018)
- HELMRICH, ROBERT u.a.: Digitalisierung der Arbeitslandschaften. Keine Polarisierung der Arbeitswelt, aber beschleunigter Strukturwandel und Arbeitsplatzwechsel. In: Wissenschaftliche Diskussionspapiere, 180 (2016)
- HELMRICH, ROBERT u.a.: Future Skilled-Labour Markets in Germany: from Model-Based Calculations to Scenarios. In: Statistika, 93 (2013) 3, S. 1-21
- HELMRICH, ROBERT; ZIKA, GERD (HRSG.): Beruf und Qualifikation in der Zukunft. BIBB-IAB-Modellrechnungen zu den Entwicklungen in Berufsfeldern und Qualifikationen bis 2025. Bielefeld 2010
- HENG, STEFAN: Industrie 4.0. Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor. Frankfurt am Main 2014.
- KOCH, VOLKMAR; GEISSBAUER, REINHARD: Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Studie. 2014.

LEWALDER, ANNA CHRISTIN; u.a.: Operationalisierung von Ersetzungspotentialen in Erwerbstätigkeiten durch Technologie. In: Bundesinstitut für Berufsbildung (im Erscheinen)

MAIER, TOBIAS u.a.: Engpässe im mittleren Qualifikationsbereich trotz erhöhter Zuwanderung. Aktuelle Ergebnisse der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen bis zum Jahr 2030 unter Berücksichtigung von Lohnentwicklungen und beruflicher Flexibilität. In: BIBB-Report 23/14 (2014a), S. 1-16

MAIER, TOBIAS u.a.: Modelling reallocation processes in long-term labour market projections. In: Journal for Labour Market Research (2017), S. 1-26

MAIER, TOBIAS u.a.: Bevölkerungswachstum bei geringer Erwerbslosigkeit. Ergebnisse der fünften Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen bis zum Jahr 2035 (im Erscheinen). In: BIBB-Report, 07/2018 (2018)

MAIER, TOBIAS u.a.: Löhne und berufliche Flexibilitäten als Determinanten des interaktiven QuBe-Arbeitsmarktmodells. Ein Methodenbericht zur Basisprojektion der 3. Welle der BIBB-IAB Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. In: Wissenschaftliche Diskussionspapiere Bonn 2014b.

MAIER, TOBIAS u.a.: Die Bevölkerung wächst - Engpässe bei fachlichen Tätigkeiten bleiben aber dennoch bestehen. In: BIBB-Report, 3/2016 (2016), S. 1-22

MEYER, BERND u.a.: National economic policy simulations with global interdependencies. A sensitivity analysis for Germany. In: Economic Systems Research, 19 (2007) 1, S. 37-55

PFEIFFER, SABINE; SUPHAN, ANNE: Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Working Paper 2015 #1 Finalfassung. 2015. - URL: <https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-final.pdf> (Stand: 08.08.2018)

SCHNUR, PETER; ZIKA, GERD: Das IAB/INFORGE-Modell. Ein sektorales makroökonomisches Projektions- und Simulationsmodell zur Vorausschätzung des längerfristigen Arbeitskräftebedarfs. Nürnberg 2009

STATISTISCHES BUNDESAMT: Berufliche Weiterbildung in Unternehmen 2015. Fünfte Europäische Erhebung über die berufliche Weiterbildung in Unternehmen (CVTS5). Wiesbaden 2017.

TIEMANN, MICHAEL: Routine bei der Arbeit. Eine Untersuchung zur Entwicklung von Routineinhalten auf Basis der Erwerbstätigenbefragungen seit 1979. In: BWP, 02/2016 (2016), S. 18 - 22

TÜVRHEINLAND: Szenarien und Kosten für eine kosteneffiziente flächendeckende Versorgung der bislang noch nicht mit mindestens 50 Mbit/s versorgten Regionen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Zusammenfassung. 2013.

WARNING, ANJA; WEBER, ENZO: Digitalisation, hiring and personnel policy: evidence from a representative business survey. In: IAB-Discussion Paper 10/2018 (2018)

WEBER, ENZO: Industrie 4.0: Wirkungen auf den Arbeitsmarkt und politische Herausforderungen. Zeitschrift für Wirtschaftspolitik. In: Zeitschrift für Wirtschaftspolitik, 65 (2016) 1, S. 66-74

WOLTER, MARC-INGO u.a.: Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. In: IAB-Forschungsbericht, 8/2015 (2015a)

WOLTER, MARC INGO u.a.: TINFORGE - Trade for the INterindustry FORecasting GErmany Model. Osnabrück 2014.

WOLTER, MARC INGO u.a.: Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. IAB Forschungsbericht 8/2015. Nürnberg 2015b.

WOLTER, MARC INGO u.a.: Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie: Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. In: IAB-Forschungsbericht, 13/2016 (2016), S. 67

ZIKA, GERD u.a.: In der Arbeitszeit steckt noch eine Menge Potenzial. Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen bis 2030. In: IAB-Kurzbericht, 18/2012 (2012), S. 1-12