

Wolter, Marc Ingo et al.

Research Report

Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft: Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB- IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen

IAB-Forschungsbericht, No. 8/2015

Provided in Cooperation with:

Institute for Employment Research (IAB)

Suggested Citation: Wolter, Marc Ingo et al. (2015) : Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft: Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen, IAB-Forschungsbericht, No. 8/2015, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), Nürnberg

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/126512>

Standard-Nutzungsbedingungen:

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

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

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

Terms of use:

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

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

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

IAB-Forschungsbericht

8/2015

Aktuelle Ergebnisse aus der Projektarbeit des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung

Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft

Szenario-Rechnungen im Rahmen der
BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen

Marc Ingo Wolter
Anke Mönning
Markus Hummel
Christian Schneemann
Enzo Weber
Gerd Zika
Robert Helmrich
Tobias Maier
Caroline Neuber-Pohl

ISSN 2195-2655

Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft

Szenario-Rechnungen im Rahmen der
BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen

Marc Ingo Wolter (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung - GWS)

Anke Mönning (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung - GWS)

Markus Hummel (IAB)

Christian Schneemann (IAB)

Enzo Weber (IAB)

Gerd Zika (IAB)

Robert Helmrich (Bundesinstitut für Berufsbildung - BIBB)

Tobias Maier (Bundesinstitut für Berufsbildung - BIBB)

Caroline Neuber-Pohl (Bundesinstitut für Berufsbildung - BIBB)

Mit der Publikation von Forschungsberichten will das IAB der Fachöffentlichkeit Einblick in seine laufenden Arbeiten geben. Die Berichte sollen aber auch den Forscherinnen und Forschern einen unkomplizierten und raschen Zugang zum Markt verschaffen. Vor allem längere Zwischen- aber auch Endberichte aus der empirischen Projektarbeit bilden die Basis der Reihe.

By publishing the Forschungsberichte (Research Reports) IAB intends to give professional circles insights into its current work. At the same time the reports are aimed at providing researchers with quick and uncomplicated access to the market.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	6
Abstract	6
1 Industrie 4.0 führt zu vielfältigen Änderungen	8
2 Auf dem Weg in die Industrie 4.0.....	9
3 Methoden, Einflussfaktoren und Annahmen.....	16
3.1 Methoden: Szenario-Technik und Einsatz von Modellen	16
3.2 Mögliche Parameter und Annahmen.....	20
3.3 Annahmen – generelle Einschätzungen.....	24
4 Szenario-Rechnungen und Ergebnisse	25
4.1 Ausrüstungsinvestitionen (Teil-Szenario 1)	25
4.2 Bauinvestitionen (Teil-Szenario 2)	29
4.3 Material- und Personalaufwand (Teil-Szenario 3)	32
4.4 Berufsfeldstruktur (Teil-Szenario 4).....	40
4.5 Gesamtwirkung ohne zusätzliche Nachfragen (Teil-Szenarien 1-4)	44
4.6 Nachfrage (Teil-Szenario 5)	49
4.7 Industrie-4.0-Szenario (Gesamt-Szenario 1-5)	53
5 Schlussfolgerungen	62
Literatur	65

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1	Die vier Stufen der industriellen Revolution	10
Abbildung 2	Horizontale und vertikale Integration.....	13
Abbildung 3	Charakteristika des Begriffs Industrie 4.0	14
Abbildung 4	Szenario-Ergebnisse.....	18
Abbildung 5	QuBe-Projekt im Überblick.....	19
Abbildung 6	IAB/INFORGE im Überblick	20
Abbildung 7	Schematische Darstellung der Input-Output-Tabelle	22
Abbildung 8	Vintagen der Umrüstungsinvestitionen	27
Abbildung 9	Teil-Szenario 1 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Referenz-Szenario	28
Abbildung 10	Teil-Szenario 1 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario.....	29
Abbildung 11	Teil-Szenario 2 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Teil-Szenario 1	31
Abbildung 12	Teil-Szenario 2 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 1	31
Abbildung 13	Teil-Szenario 3 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Teil-Szenario 2	36
Abbildung 14	Teil-Szenario 3 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 2	37
Abbildung 15	Teil-Szenario 3 – Zahl der Erwerbstätigen nach Branchen im Vergleich zum Teil-Szenario 2	38
Abbildung 16	Teil-Szenario 3 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Branchen im Vergleich zum Teil-Szenario 2.....	38
Abbildung 17	Teil-Szenario 3 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufen im Vergleich zum Teil-Szenario 2.....	39
Abbildung 18	Veränderung der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern zwischen 1996 und 2011	41
Abbildung 19	Teil-Szenario 4 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 3	43
Abbildung 20	Teil-Szenario 4 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufen im Vergleich zum Teil-Szenario 3.....	44
Abbildung 21	Gesamt-Szenario 1-4 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Referenz-Szenario	45
Abbildung 22	Gesamt-Szenario 1-4 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario	46
Abbildung 23	Gesamt-Szenario 1-4 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario	47
Abbildung 24	Gesamt-Szenario 1-4 – Anzahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Branchen im Vergleich zum Referenz-Szenario..	48
Abbildung 25	Gesamt-Szenario 1-4 – Zahl an Erwerbstätigen nach Qualifikationsstufen im Vergleich zum Referenz-Szenario	49

Abbildung 26 Teil-Szenario 5 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Teil-Szenario 4	52
Abbildung 27 Teil-Szenario 5 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 4	53
Abbildung 28 Gesamt-Szenario 1-5 – Komponenten des Bruttoinlandsproduktes im Vergleich zum Referenz-Szenario.....	54
Abbildung 29 Gesamt-Szenario 1-5 – Primärinputs und Vorleistungen im Vergleich zum Referenz-Szenario	56
Abbildung 30 Entwicklung der kumulierten Gewinne der Landwirtschaft und des Verarbeitenden Gewerbes im Vergleich zum Referenz-Szenario.....	57
Abbildung 31 Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario	58
Abbildung 32 Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der Erwerbstätigen nach ausgewählten Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario in 2030	59
Abbildung 33 Gesamt-Szenario 1-5 – Anzahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Branchen im Vergleich zum Referenz-Szenario..	60
Abbildung 34 Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario	60
Abbildung 35 Gesamt-Szenario 1-5 – der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Wirtschaftszweigen und Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario	61
Abbildung 36 Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der Erwerbstätigen nach Qualifikationsstufen im Vergleich zum Referenz-Szenario	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Liste der Annahmen	25
Tabelle 2 Gegenüberstellung von Kosten (Zahlungen) und Einsparungen, nominal.....	35
Tabelle 3 Einbeziehung des Routine-Anteils, Beispielrechnung.....	43
Tabelle 4 Auswahl der Verwendungszwecke (blau hinterlegt)	51
Tabelle 5 Gesamt-Szenario 1-5 Wirkungen auf die Komponenten des Bruttoinlandsprodukts in den Teil-Szenarien und insgesamt	55

Zusammenfassung

Mit diesem Forschungsbericht liegt die erste modellbasierte Wirkungsabschätzung von Industrie 4.0 auf Arbeitsmarkt und Wirtschaft in Deutschland vor. 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 den daraus folgenden Personal- und Materialaufwand der Unternehmen (3) und eine veränderte Nachfragestruktur nach Berufen und Qualifikationen (4). Die kumulativen Effekte der vier Teil-Szenarien werden mit einem Referenz-Szenario, das keinen fortgeschrittenen Entwicklungspfad zu Industrie 4.0 enthält, verglichen. Darüber hinaus werden in einem weiteren Teil-Szenario Arbeitsmarkteffekte einer möglicherweise steigenden Nachfrage nach Gütern (5) in den Blick genommen und ebenfalls am Referenz-Szenario gespiegelt.

Im Ergebnis zeigt sich, dass Industrie 4.0 den Strukturwandel hin zu mehr Dienstleistungen beschleunigen wird. Dabei sind Arbeitskräftebewegungen zwischen Branchen und Berufen 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.

Die getroffenen Annahmen wirken zu Gunsten der ökonomischen Entwicklung. Das bedeutet aber auch, dass bei einer verzögerten oder gar verschleppten Umsetzung, die Annahmen sich gegen den Wirtschaftsstandort Deutschlands wenden: Wir werden weniger exportieren und mehr „neue“ Güter im Ausland nachfragen.

Um ökonomische Erkenntnisse zu den Wirkungen der Digitalisierung weiter zu verbessern, ist eine Fortentwicklung des QuBe-I4.0-Projekts geplant.

Abstract

This study focuses on the economic effects of the phenomenon of „industry 4.0“, the digitalisation of the production processes. These developments involve considerable challenges at enterprise and political level. The five-step scenario analysis begins with the impacts of increased investments of enterprises in equipment (1) and of the state in the network infrastructure (2) on the overall economy and the labour market. On this basis we further model the consequent personnel and material costs of the enterprises (3) and a changed pattern of demand for occupations and skills (4). The cumulative effects of these four partial scenarios are compared with a baseline scenario which contains no advanced development path to industry 4.0. In a further scenario the effects on the labour market of a potentially increasing demand for goods (5) are taken into consideration and also contrasted with the baseline scenario.

The results show that industry 4.0 will accelerate the structural change towards more services. In this process labour force movements between branches and occupations are much larger than the change of the number of employees in total. The turnover on the labour market are accompanied by an increasing value added which is leading not only to more economic assets but also – due to higher requirements for the labour force – to higher aggregate wages.

The underlying assumptions have a positive effect on the economic development. But this also means that, given a delayed realization, the assumptions are turning against the business location Germany: We will export less and demand more 'new' goods from abroad.

In order to improve the economic findings on the effects of digitization, a further development of QUBE-I4.0-project is planned.

1 Industrie 4.0 führt zu vielfältigen Änderungen

Die ökonomische Entwicklung ist stets von Veränderungen geprägt. So verändert sich die Zusammensetzung der Erwerbstätigen der Gesamtwirtschaft nach Branchen im Rahmen des wirtschaftlichen Strukturwandels fortlaufend. Der Anteil der Erwerbstätigen, die in Landwirtschaft und im Verarbeitenden Gewerbe arbeiten, sinkt stetig und steigt im Dienstleistungsbereich. Der vorliegende Beitrag untersucht, ob die Neuerungen, die im Zusammenhang von Industrie 4.0 erwartet werden, diesen Strukturwandel beschleunigen und die Arbeitslandschaft bezogen auf die Berufs- und Qualifikationsstruktur maßgeblich beeinflussen werden. Ferner geht es um die Frage, welche Auswirkungen der Übergang zu einer Industrie 4.0 auf die wirtschaftliche Entwicklung und die Zahl der Erwerbstätigen insgesamt haben wird.

Wir unterscheiden in unseren Begrifflichkeiten „Industrie 4.0“ von dem darüber hinausgehenden Begriff „Wirtschaft 4.0“. Während wir unter „Industrie 4.0“ die interaktive Vernetzung der analogen Produktion mit der digitalen Welt verstehen, beschreibt „Wirtschaft 4.0“ den Umstand, dass die Digitalisierung nicht nur zu einem Wandel bei der industriellen Produktion sondern auch bei allen Dienstleistungsbranchen führt und damit sämtliche Lebensbereiche berühren wird. Die in der Öffentlichkeit diskutierten Folgen der „Digitalisierung der Arbeit“ beziehen sich ebenso wie das Grünbuch „Arbeiten 4.0“ (BMAS 2015) dementsprechend auf Wirtschaft 4.0.

Wir identifizieren Einflussgrößen (Parameter), die sich im Rahmen des Übergangs in eine Industrie 4.0 verändern werden. Im Rahmen einer Szenario-Analyse, die auf den Methoden und Ergebnissen des QuBe-Projekts (www.qube-projekt.de) aufbaut, werden die Folgen veränderter Einflussgrößen auf Qualifikationen, Berufe, Branchen und die gesamtwirtschaftliche Entwicklung ermittelt. Der Weg zum Gesamt-Szenario wird schrittweise in den folgenden fünf Teil-Szenarien begangen:

- (1) Folgen von erhöhten Ausrüstungsinvestitionen
- (2) Folgen von erhöhten Bauinvestitionen
- (3) Ergebnisse veränderter Material- und Personalaufwand
- (4) Ergebnisse der veränderten Berufsfeldstruktur
- (5) Folgen einer steigenden Nachfrage nach neuen Gütern

Durch den schrittweisen Aufbau der Szenarien folgt der Aufbau des Papiers einer chronologischen Abfolge von Investitionen und daraus resultierenden Ergebnissen. Die Ergebnisse der einzelnen Szenarien werden deshalb immer mit den Ergebnissen des vorangehenden Teil-Szenarios verglichen. Auswirkungen der kumulativen Effekte der Teil-Szenarien 1 bis 4 bzw. 1 bis 5 werden zudem zusätzlich am Referenz-Szenario der 3. Welle des QuBe-Projektes (Maier et al. 2014a) gespiegelt.

Zentrale Ergebnisse der Studie zeigen, dass der Übergang in die Industrie 4.0 auf der einen Seite zwar zu einer Verbesserung der ökonomischen Entwicklung führen kann, unter den getroffenen Annahmen wird aber auf der anderen Seite die Anzahl der Arbeitsplätze in 2030 um 60.000 geringer ausfallen als im Referenz-Szenario.

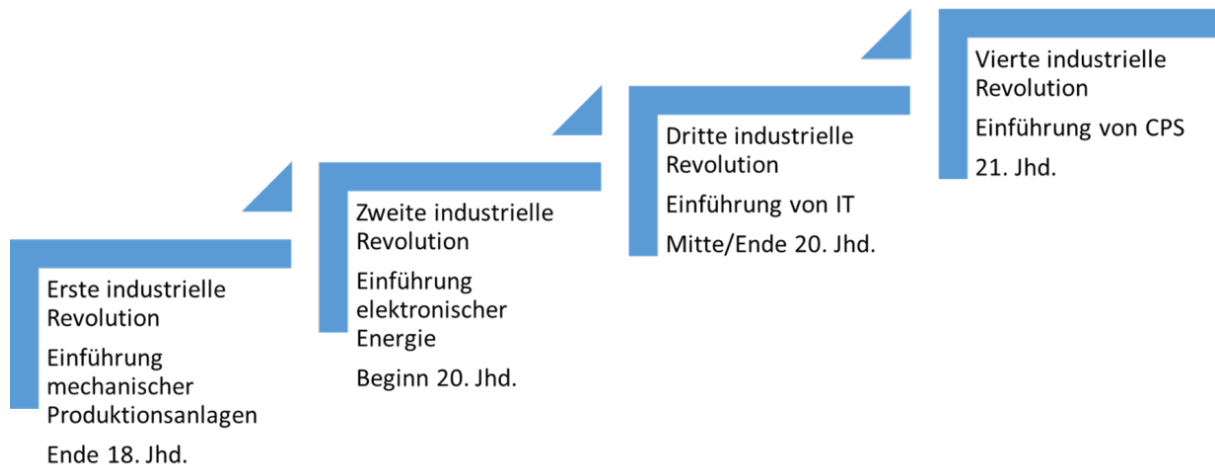
Gleichzeitig gehen 420.000 Arbeitsplätze vor allem im Verarbeitenden Gewerbe verloren und es werden fast 360.000 neu geschaffen. Die Arbeitsplätze „wechseln“ zwischen Branchen, Berufen und Qualifikationen in erheblichem Umfang.

Grundsätzlich hängen Ergebnisse aus Szenarien-Analysen von den getroffenen Annahmen ab. Die Projektpartner werden die hier vorgelegte Studie daher in Zukunft weiterentwickeln. Dabei werden die Art der Modellierung und zusätzliche Informationen beispielsweise aus Betriebsbefragungen im Mittelpunkt stehen. Auch eine Erweiterung von „Industrie 4.0“ auf „Wirtschaft 4.0“ wird angestrebt, um weitere Erkenntnisse zu den Folgen von Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt und die Wirtschaft aufzuzeigen.

2 Auf dem Weg in die Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 resultiert aus der Geschichte der industriellen Revolutionen, die bislang drei Stufen kennt (Abbildung 1). Ende des 18. Jahrhunderts wurde mit Einführung von Wasser- und Dampfkraft der Umbruch von der Agrar- zur Industriegesellschaft eingeleitet. Mit Hilfe von mechanischer Energie konnte die Produktion im Vergleich zu vormals handwerklich ausgeübten Tätigkeiten deutlich beschleunigt werden (Beispiel mechanischer Webstuhl). Durch die gleichzeitige Verbreitung von Dampfschiffen und Eisenbahnen konnten der Transport und die Logistik erheblich vereinfacht werden. Die Lohnarbeit entstand. Der vorherrschende Energierohstoff war Kohle. Die zweite industrielle Revolution wird zeitlich dem Beginn des 20. Jahrhunderts zugeordnet und läutete das Zeitalter der Hochindustrialisierung ein. Die Elektrifizierung der Produktion durch die Einführung von elektrischer Energie – Erdöl löste Kohle als dominierende Energiequelle ab – führte zu einem Ausbau der Massenproduktion (Fließbandarbeit). Die fordistische Massenproduktion mit tayloristischen Produktionsprozessen löste einen Produktivitätsschub aus, der auch die Entstehung einer sozialen Mittelschicht und eines beginnenden Wohlfahrtsstaates beförderte. Die dritte industrielle Revolution ist zeitlich den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts zuzuordnen und wird auch als die digitale Revolution bezeichnet. Die Verbreitung des Computers läutete den Umbruch von der Industrie- zur Informationsgesellschaft ein. Mit Einführung von Elektronik und Informationstechnologien wurde eine weitere Automatisierung der Produktion möglich. Weite Teile der Steuerung und Koordination von Maschinen, Prozessen und globalen Lieferverflechtungen werden computergestützt durchgeführt. Mikroelektronik, neue Werkstoffe und Biotechnologien eröffneten neue Produktionsmethoden, Anwendungen und die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen.

Abbildung 1
Die vier Stufen der industriellen Revolution



Quelle: auf Basis von BITKOM 2014 – eigene Darstellung.

Die vierte Stufe der industriellen Revolution kann als eine Weiterführung oder als konsequente Umsetzung der Ideen und Technologien aus der dritten Industrierevolution verstanden werden. Sie wird neben einem fundamentalen Umdenken in der Funktionsweise von Produktionsanlagen auch zu Umbrüchen in der Arbeitswelt führen.

Schon heute zu beobachtende Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft werden die Entwicklung hin zur Industrie 4.0 forcieren: Bislang haben sich die starken, exportorientierten Industriezweige Maschinenbau, Auto- und Chemieindustrie vor allem durch eine hohe Produktqualität international behaupten können. Die Globalisierung verbessert die Vergleichbarkeit von Leistungen und erhöht den Wettbewerbsdruck. Unternehmen müssen ihren Wettbewerbsvorsprung ständig verteidigen. Produkt- und Prozessinnovationen sind somit entscheidend, insbesondere da die Wertschöpfungsketten immer kleinteiliger und komplexer werden. Es müssen nicht nur nationale Grenzen überwunden, sondern auch das Zusammenspiel vieler verschiedener, teilweise auch hoch-spezialisierter Zulieferer koordiniert werden. Was im industriellen Produktionsprozess schon heute ausgeprägt ist, wird durch die Urbanisierung und das noch anhaltende (weltweite) Bevölkerungswachstum auch für Branchen wie das Handels- und Transportgewerbe oder die Landwirtschaft immer relevanter. Zum einen müssen auf begrenzter Fläche immer mehr und effizienter Nahrungsmittel produziert werden, zum anderen stellt die Urbanisierung neue Herausforderungen an das Handels- und Transportwesen im Sinne von zeitnahe und ständiger Bereitstellung von Produkten und Dienstleistungen. Dazu kommt, dass mit der Individualisierung der Gesellschaft auch die Nachfrage nach individualisierbaren Produkten zunehmen wird. Schließlich wird auch die Ressourcenknappheit zu einer Optimierung im Herstellungsprozess führen müssen.

Insgesamt muss damit in Zukunft kontinuierliche Innovationstätigkeit in Einklang gebracht werden mit einer zunehmenden Komplexität und Dynamik in den Wertschöpfungsketten, was ein Umdenken in der gesamten Produktionssteuerung über

alle Wirtschaftsbereiche hinweg zur Folge haben muss. Ein solches Umdenken wird mit dem Stichwort „Industrie 4.0“ beschrieben.

Bis jetzt gibt es allerdings noch keine einheitliche und abgrenzungsscharfe Definition darüber, was genau unter dem Begriff Industrie 4.0 zu verstehen ist (DBR 2014). Dies wird nicht nur deutlich in den wenigen deutschsprachigen Studien, die sich mit dem Thema beschäftigt haben (BITKOM 2014; PWC 2014; DBR 2014). Auch eine Umfrage, die 2014 im Auftrag der WELT (2014) durchgeführt wurde, bestätigt, dass für 64 Prozent der befragten Unternehmen der Begriff Industrie 4.0 unbekannt ist. Nichtsdestotrotz ist Industrie 4.0 eine Idee, der sich nicht nur die großen Industrieunternehmen und -verbände verschrieben haben: Die Industriemesse in Hannover stand 2015 unter dem Motto Industrie 4.0, viele Großunternehmen (z. B. Bosch, Audi (Reflex Verlag 2015; Die WELT 2014)) investieren bereits in Industrie-4.0-Technologien. Die großen Industrieverbände Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) und Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI) haben gemeinschaftlich mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) eine Internetplattform¹ zum Thema Industrie 4.0 initiiert. Sie ist Teil der Hightech-Strategie des BMBF (2014) und auch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales hat mit dem Grünbuch „Arbeit 4.0“ das Thema aufgegriffen (BMAS 2015).

Trotz der vielen Studien und Foren wird unter Industrie 4.0 meistens nicht das verstanden, was gemeint ist. Es ist mehr als „just-in-time production“ und mehr als „lean production“² – Schlagwörter aus den 90er Jahren. Oft werden „digitale Teilprojekte schon als Industrie 4.0 bezeichnet“ (Professor Schuh von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen in DIE WELT 2014). Es geht aber vielmehr um einen „industriellen Dominoeffekt“ (DIE ZEIT 2014), bei dem über Branchen- und Produktionsgrenzen hinweg Teile vollautomatisch ihre Daten austauschen. Immerhin dürfte mittlerweile der Bekanntheitsgrad des Themas Industrie 4.0 höher liegen als noch 2014.

Industrie 4.0 steht für die interaktive Vernetzung der analogen Produktion mit der digitalen Welt. Diese Transformation beinhaltet Elemente wie Big Data, autonom arbeitende Systeme, Cloud Computing, Social Media, mobile und selbstlernende Systeme. Es handelt sich bei dieser Entwicklung eher um einen evolutorischen Pro-

¹ www.plattform-i40.de

² Lean production geht auf das Toyota-Produktionssystem zurück, welches darauf zielt, jede Art von „Verschwendung“ (Nacharbeit, Lagerhaltung, Überproduktion, Transport, ...) zu vermeiden bzw. zu optimieren. Steuerung erfolgt über das Kanban-Verfahren und ein Milkrun-Konzept. Das Milkrun-Konzept verlangt eine bedarfsgerechte Bereitstellung einmalig festgelegter Losgrößen. Das Kanban-Verfahren teilt mittels elektronischer Signalkarten den Bedarf mit.

zess als um eine Revolution. Im Folgenden wird in Anlehnung an die vorliegende (deutschsprachige) Literatur eine einheitliche Definitionsbildung vorgenommen. Die Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft (2013) gibt folgende Definition:

Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von CPS³ in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste⁴ in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation.

[Forschungsunion & acatech (2013)]

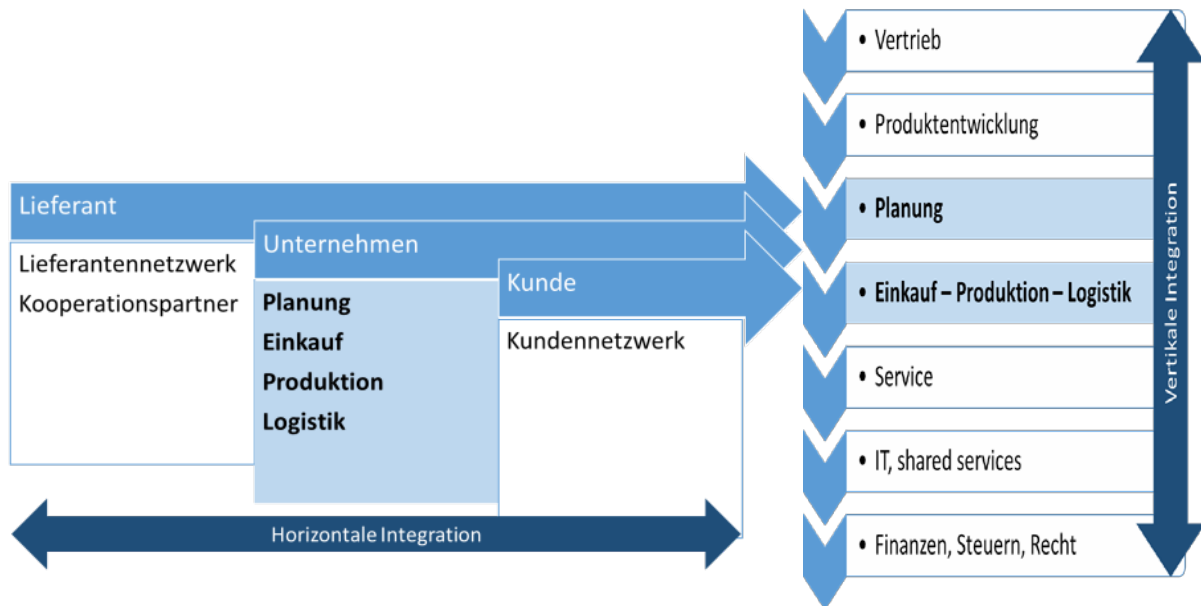
Durch die Entwicklung und Implementierung neuer Cyber-Physical Systems können innovative Wege in der Produktion gegangen werden. Schon jetzt wird über die individuelle Serienproduktion, die bessere Planung der Produktion mittels echtzeitnaher Daten und der damit einher gehenden Erhöhung der Produktionsflexibilität bzw. der besseren Reaktionsfähigkeit der Unternehmen auf Marktschwankungen geredet. Die hohe Volatilität der „on demand“ Produktion führt dazu, dass sowohl die Produktionsanlagen als auch die Mitarbeiter im Unternehmen flexibler eingesetzt werden können (Spath et al. 2013).

Aber Industrie 4.0 bedeutet nicht nur eine intelligente Steuerung und Planung der Produktion innerhalb eines Unternehmens (vertikale Integration), sondern auch über die eigenen Firmengrenzen hinweg (horizontale Integration). Die Schnittstelle zwischen horizontaler und vertikaler Integration ist der Bereich Planung, Einkauf, Produktion und Logistik (Abbildung 2).

³ CPS – Cyber-Physical Systems – bezeichnet die Verschmelzung der physikalischen mit der virtuellen Welt. Das heißt es entsteht eine Vernetzung zwischen Mensch, Maschine, Produkt, Objekt und IKT-System. Als Objekt werden Werkzeuge, Behälter und andere Hilfsmittel bezeichnet, die über Barcodes, Sensoren und Aktoren von passiven zu aktiven Einsatzmitteln in der Produktion mutieren. Maschinen können neben dem Bediener (= Mensch) und anderen Maschinen auch mit den Objekten und Produkten kommunizieren, so dass permanent Informationsströme, beispielsweise über Auftragsstand, Material- oder Wartungsbedarf, vorhanden sind.

⁴ Bezeichnet das Zusammenwachsen von Internet mit dem Gegenstand oder der Dienstleistung. Der Computer ist nicht mehr „nebenstehendes“ Gerät sondern integraler Bestandteil („embedded system“). Via Barcodes, Radiofrequenz-Identifikation (RFID), Sensoren oder Aktoren werden Produkte mit Zusatzinformationen verknüpft. Ein Beispiel ist die Paketverfolgung über Internet.

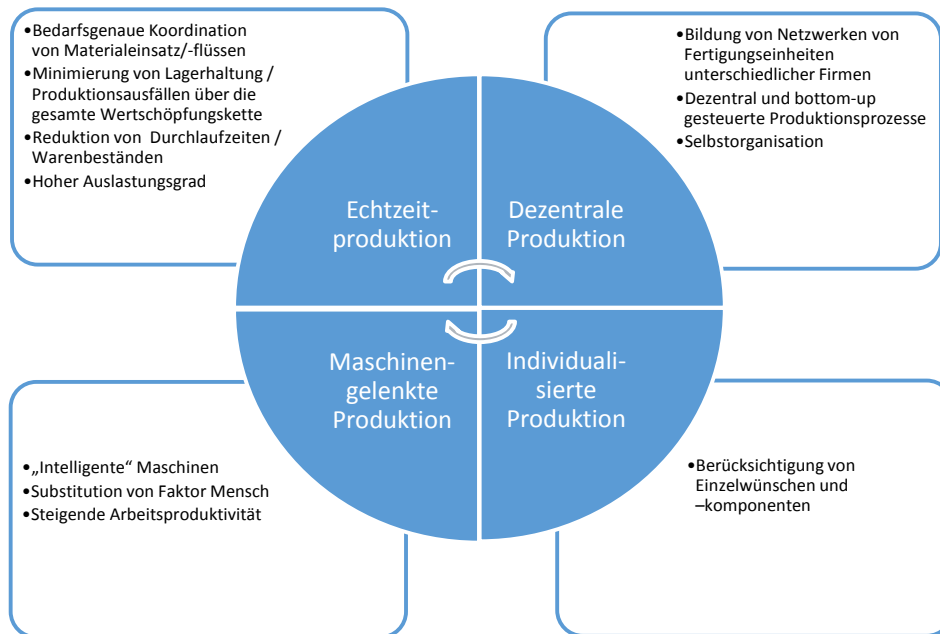
Abbildung 2
Horizontale und vertikale Integration



Quelle: PWC 2014: 21 – eigene Darstellung.

Mit horizontaler Integration ist eine branchenübergreifende Vernetzung des Produktionsprozesses gemeint. Über digitale Knotenpunkte wird die anfallende Arbeit von Maschinen verteilt. Sie ermitteln selbstständig den Bedarf an Vormaterial, Werkzeug und Personal, bestimmen deren Einsatz und ordern eigenständig bei vorgelagerten Einheiten Materialien nach. Ziel ist es, den Waren- und Informationsfluss innerhalb der Wertschöpfungskette zu optimieren. Die vertikale Integration meint dagegen die Optimierung des firmeninternen Waren- und Datenstromes mit dem Ziel, die Qualität und Flexibilität zu erhöhen. Entscheidend für beide Aspekte der Industrie 4.0 ist, dass Informationen in Echtzeit verarbeitet werden können, alle Prozesse entlang der Wertschöpfungskette miteinander vernetzt sind, sich in gegenseitigem Austausch befinden und darüber hinaus selbstorganisiert handeln können. Insbesondere die Selbstorganisation macht deutlich, dass mit Industrie 4.0 keine hierarchisch und zentralistisch geplante Produktionsleitung existieren wird, sondern dass das Produkt weiß, wie es verarbeitet werden soll, wofür es gebraucht wird und wohin es transportiert werden muss. Zusammengefasst ergeben sich die folgenden vier Kerncharakteristika des Begriffs Industrie 4.0 (Abbildung 3):

Abbildung 3 Charakteristika des Begriffs Industrie 4.0



Quelle: eigene Darstellung.

Beim Übergang in die Industrie 4.0 wird der Umbruch in der Produktionsstruktur sicherlich Konsequenzen haben. Bezogen auf die Arbeits- und Berufswelt wird, so die Annahmen, die Arbeit anspruchsvoller werden und mehr non-formale Qualifikationsansprüche wie Fähigkeit zu selbstständigem Handeln, Selbstorganisation, Abstraktionsfähigkeit etc. haben (Forschungsunion & acatech 2013). Im Rahmen von qualitativen Vorstudien, die BIBB und IAB mit Unternehmen durchgeführt haben, die sich bereits intensiv mit der Umsetzung von Industrie 4.0 befassen⁵, hat sich ergeben, dass insbesondere einfache repetitive Tätigkeiten und „autistisch“ angewandtes Spezialwissen weniger benötigt werden.

Nach Meinung der Befragten werden Start-up-Unternehmen, welche die Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen, um flexiblere und individualisierte Produkte herstellen zu können, neue Marktnischen bilden und besetzen. Gerade sie fordern von ihren Fachkräften eine spezifische fachliche Kompetenz, die einhergehen muss mit einer Kompetenz im Umgang mit digitalen Medien und Netzen sowie ausgeprägten softskills im kommunikativen Bereich und insbesondere in der Teamarbeit. Problemlösungskompetenz, die innerhalb der Prozesse im Team abgestimmt, aber auch ei-

⁵ Befragt wurden von BIBB und IAB im Rahmen von qualitativen Leitfadeninterviews bislang insgesamt sechs Unternehmen sowie zwei Branchen- bzw. Berufsverbände aus dem Bereich Software, Elektrotechnik, Elektronik, Logistik und Fahrzeugbau.

genverantwortlich umgesetzt werden, ist für die Unternehmen von zentraler Bedeutung.

Grundsätzliche neue Kompetenzen oder Tätigkeiten, die auf neue Berufsbilder hinauslaufen würden, sind nach Auskunft dieser Unternehmen jedoch nicht zu erwarten. Vielmehr sind die bisherigen Berufe hinreichend aufgestellt. Betont wird aber, dass IT-Kenntnisse dort noch stärker und nahezu durchgehend verfügbar sein müssen.

Aus Sicht dieser Unternehmen kommt es im mittleren Fachkräftebereich nicht zwangsläufig zu einem Rückgang bei der Fachkräftenachfrage. Zwar steigen die Anforderungen an die Beschäftigten, vor allem in der Entwicklungsphase neuer Prozesse und Produkte, was aber nur zu einer kurzfristigen Verlagerung des Bedarfs in Richtung akademischer Abschlüsse führen könnte. Mit der Umsetzungsphase würde sich diese Verschiebung wieder einpendeln, da dann wieder mehr Personen mit Berufsabschluss nachgefragt werden würden. Langfristig problematisch bleibt hingegen die Beschäftigungssituation für Geringqualifizierte.

Aber nicht nur der Personalbestand könnte sich im Zuge der Industrie 4.0 reduzieren bzw. neu gemischt werden. Auch Material, Bestände und Bewegungsabläufe werden durch die Echtzeitproduktion substituierbar (BITKOM 2014). Die Effizienzgewinne lassen sich sowohl durch Arbeits- als auch Materialproduktivität erklären. Interne operative Kosten werden durch die Digitalisierung der Wertschöpfungsketten reduziert (Forschungsunion & acatech 2013). Es wird angenommen, dass die Lagerhaltungen zurückgefahren, im Extremfall sogar vollständig vermieden werden können. Eine erhöhte Energieeffizienz durch koordiniertes An- und Abschalten von Anlagenteilen kann ebenfalls erreicht werden (Forschungsunion & acatech 2013). Zu erwarten ist neben den Kostenentlastungen auch ein höherer Umsatz „aufgrund der Adressierung eines größeren Marktes und der Erhöhung der Kundenzufriedenheit“ (Forschungsunion & acatech 2013). Außerdem kann der Produktionsstandort Deutschland insgesamt profitieren, da die Produktion auch in Hochlohnländern attraktiv bleibt.

Den positiven Effekten (Vermeidung von Kosten, Vergrößerung der Absatzchancen) stehen verschiedene zusätzliche Aufwendungen gegenüber. Der Investitionsbedarf ist groß und stellt die Unternehmen in puncto Sicherheit, Offenlegung, Normierung und Standardisierung vor Herausforderungen. Auch wird ein hoher Qualifizierungsbedarf bei den Arbeitnehmern gesehen (VDE 2013). Daher wird die Einführung der Industrie 4.0 ein langfristiger und schrittweiser Prozess sein. Gemäß einer VDE-Studie (2013) rechnen die befragten Unternehmen nicht mit einer vollständigen Realisierung vor 2025.

Gerade jüngere Unternehmen und Start-ups werden sich dieser Entwicklung zuwenden. Je spezialisierter ein Unternehmen ist, desto schwieriger wird es werden, die Wertschöpfungskette weiter zu automatisieren (Heng 2014). In etablierten Un-

ternehmen wird die Nachrüstung bestehender Maschinen und Produktionsanlagen dadurch eine wichtige Rolle spielen. Die Automatisierung durch Industrie 4.0 wird sehr flexibel sein und kann je nach Branche und Unternehmen spezifisch umgesetzt werden. Zum Beispiel wird es, laut Heng (2014), in der Automobilindustrie mit ihrem hohen Individualisierungsgrad eher zur Einführung von neuen innovativen Prozessen kommen, wohingegen reine Prozessindustrien, wie zum Beispiel die Pharmazie, nicht so schnell diese Neuerungen umsetzen. Bereiche wie der Maschinenbau (Automatisierungstechnik, Verfahrenstechnik, Produktionstechnik) und die Informations- und Telekommunikationstechnologien (IKT) mit den dazugehörigen Dienstleistungen werden besonders berührt sein, da diese hauptsächlich für die Errichtung der Infrastruktur für Industrie 4.0 verantwortlich sein werden (VDE 2013).

3 Methoden, Einflussfaktoren und Annahmen

3.1 Methoden: Szenario-Technik und Einsatz von Modellen

Um die Folgen eines Übergangs in die Industrie 4.0 abzubilden, wird die Szenario-Technik eingesetzt. Hierbei werden mindestens zwei Szenarien berechnet, die z. B. für einen ausgewählten Zeitpunkt in der Zukunft absolut oder relativ miteinander verglichen werden. Dazu bedarf es eines Referenz-Szenarios, das eine aktuell plausible und konsistente Entwicklung der Zukunft beschreibt und eines Alternativ-Szenarios, das eine davon abweichende Entwicklung dokumentiert. Beide Szenarien können sich in Bezug auf ihre Annahmen zu exogenen Größen (z. B. Bevölkerungsentwicklung) oder endogenen Verhaltensweisen (z. B. Produktionsweisen) unterscheiden. Um die Auswirkungen der Annahmen auf ökonomische Größen quantifizieren zu können, wird ferner ein Modell benötigt, das sowohl das Referenz- als auch Alternativ-Szenario berechnen kann.

Als Referenz-Szenario dient die BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektion, die im Rahmen der 3. Welle der QuBe-Projektionen (Maier et al. 2014a, Methodenkasten 1) veröffentlicht wurde. Die darin beschriebene Entwicklung beinhaltet natürlich bereits technologischen Fortschritt, allerdings orientiert sich diese Fortschrittsrate an der aus der Empirie ersichtlichen üblichen Entwicklung. Soll Deutschland beim Wandel zur Industrie 4.0, wie in diesem Papier angenommen, weltweit eine Vorreiterrolle übernehmen, so sind darüber hinaus zusätzliche Anstrengungen bzw. Investitionen nötig, die über eine umfassende Szenario-Spezifikation abgebildet werden.

Das für die Erstellung des Referenz-Szenarios eingesetzte Modell Q-INFORGE wird auch für die Berechnung des Industrie-4.0-Szenarios verwendet. Das Q-INFORGE-Modell basiert auf dem IAB/INFORGE-Modell (Schnur/Zika 2009; Distelkamp et al. 2003; Methodenkasten 2), das im Rahmen des QuBe-Projektes im Bereich des Arbeitsmarktes deutlich erweitert wurde (Methodenkasten 1). Das QuBe-Projekt hat sich zur Aufgabe gesetzt, Projektionen der Qualifikationen und Berufe regelmäßig durchzuführen und dabei Methoden und Analysen fortlaufend weiterzuentwickeln (Helmrich/Zika (Hrsg.) 2010; Zika/Maier (Hrsg.) 2015).

Für die folgende Szenario-Analyse ist vor allem die detaillierte Modellierung der Branchen mit ihren Kostenstrukturen auf Basis der Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes und die feingliederige Darstellung der 54 Berufsfelder (Tiemann et al. 2008) nach 63 Wirtschaftszweigen auf Basis von Mikrozensus-Daten wertvoll, da so Veränderungen der Produktionsweise in der Landwirtschaft und im Verarbeitenden Gewerbe, wie auch der Berufsstruktur nach Branchen abbildbar sind.

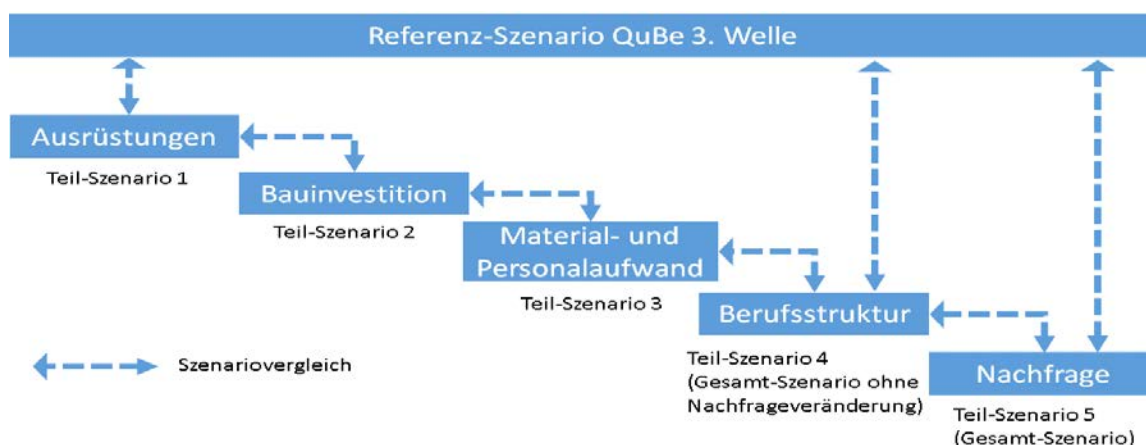
Die Operationalisierung des Industrie-4.0-Szenarios beruht auf Annahmen und quantitativen Einstellungen, die neben den dafür notwendigen Investitionen sowohl Komponenten der Endnachfrageseite, die Kostenstruktur einzelner Branchen als auch Art und Umfang des Arbeitsmarktes betreffen. Die Komplexität dieses Szenarios erfordert daher eine Vielzahl an Eingriffen, deren gesamtwirtschaftliche Effekte in ihrer Gesamtheit ohne modelltheoretischen Hintergrund nur schwer durch „Nachdenken“ zu quantifizieren sind. Sind die „Stellschrauben“ festgezogen, erlaubt der komplexe Modellierungsansatz des QuBe-Projektes eine simultane dynamische Abschätzung der Wirkungen auf die Gesamtwirtschaft und den Arbeitsmarkt.

An dieser Stelle soll noch einmal betont werden, dass die Folgen von Industrie 4.0 abgeschätzt werden, und nicht die darüber hinaus gehende „Digitalisierung der Arbeit“, die mit einer Wirtschaft 4.0 gleichzusetzen wäre.

Die Stellschrauben und ihre Quantifizierung sind Resultat einer umfangreichen Fundierung, die bestmöglich mit der bestehenden Unsicherheit umgehen soll. Zunächst wurde eine Literaturrecherche zu Studien durchgeführt, die sich mit dem Thema Industrie 4.0 und deren Wirkung auf die Volkswirtschaft und einzelne Branchen beschäftigen. Alle herangezogenen Studien beruhen – anders als das vorliegende Szenario – auf Umfrageergebnissen. Ferner wurden vom BIBB und dem IAB qualitative Interviews und Hintergrundgespräche mit Unternehmen geführt, die sich auf einen gemeinsam entwickelten Fragebogen bezogen. Zudem sind Informationsveranstaltungen, z. B. im Rahmen der Hannover-Messe, genutzt worden, um mit Unternehmen verschiedener Größenklassen ins Gespräch zu kommen.

Aufgrund der hohen Komplexität eines Industrie-4.0-Szenarios werden fünf Teil-Szenarien berechnet, die aufeinander aufbauen. Sie werden jeweils mit dem vorangehenden Teil-Szenario verglichen (Abbildung 4). Die Teil-Szenarien beschreiben die Veränderungen der Ausrüstungsinvestitionen und der Bauinvestitionen, die sich daraus ergebenden Material- und Personalaufwendungen, die Anpassungen der Berufsfeldstruktur der Produktionsbereiche des Verarbeitenden Gewerbes und der Landwirtschaft sowie abschließend die Auswirkungen auf die übrigen Nachfragekomponenten. Die Anpassungen der Kosten- und Berufsfeldstruktur beinhalten neben den Material- auch die Arbeitskosten sowie die Veränderungen der Berufsfeldstrukturen innerhalb der investierenden Branchen. Da vor allem die Auswirkungen auf die Nachfrage äußerst ungewiss sind, wird das Gesamt-Szenario mit und ohne diese Nachfrageänderungen mit dem Referenz-Szenario verglichen.

Abbildung 4
Szenario-Ergebnisse



Quelle: eigene Darstellung

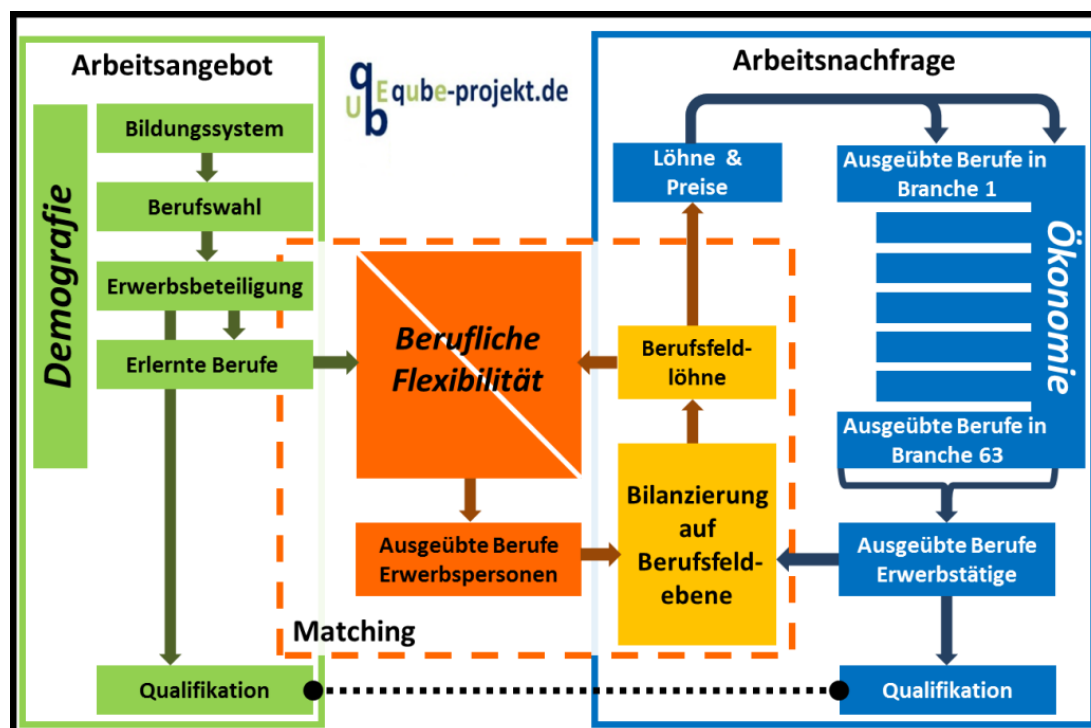
Methodenkasten 1: QuBe-Projekt

Die BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen (QuBe-Projekt), die in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT) entstanden sind, zeigen anhand von Modellrechnungen auf, wie sich das Angebot und die Nachfrage nach Qualifikationen und Berufen langfristig entwickeln können. Datengrundlage ist hierbei der Mikrozensus (in der vorliegenden Projektion bis zum Jahre 2011): eine amtliche Repräsentativstatistik des Statistischen Bundesamtes über die Bevölkerung und den Arbeitsmarkt, an der jährlich ein Prozent aller Haushalte in Deutschland beteiligt ist, angepasst an die Eckwerte der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (in der vorliegenden Projektion bis zum Jahre 2012). Die Lohninformationen entstammen aus der Beschäftigtenhistorik der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (in der vorliegenden Projektion bis zum Jahre 2011). Für die Berufsdifferenzierung wurde seitens des BIBB eine einheitliche Berufsfeldsystematik entwickelt, welche die Berufe auf der Dreisteller-Ebene der Klassifikation der Berufe entsprechend ihrer Tätigkeiten gruppiert (Tiemann et al. 2008). Zur einfacheren Darstellung werden diese 54 Berufsfelder auf 12 Berufshauptfelder (BHF) aggregiert (siehe Tabelle 4 in Maier et al. 2014b).

Die vorliegenden Ergebnisse basieren auf der Basisprojektion (Referenz-Szenario) der dritten Projektionswelle. Diese baut auf den Methoden der ersten (Helmrich/Zika 2010b) und zweiten Welle (Helmrich et al. 2012; Zika et al. 2012) auf und nimmt zudem weitere Erneuerungen mit auf. So wird auf der Bedarfsseite das bisherige IAB/INFORGE-Modell (Hummel et al. 2010; Schnur/Zika 2009) erweitert, indem das berufsspezifisch zur Verfügung stehende Arbeitskräfteangebot in Köpfen und Stunden bei der Lohnbestimmung für die Berufsfelder mit berücksichtigt wird (Q-INFORGE). Auf der Angebotsseite werden die Vorteile der bisherigen beiden Angebotsmodelle BIBB-FIT (Kalinowski/Quinke 2010) und BIBB-DEMOS (Drosowski/Wolter 2010) in einem Angebotsmodell vereint und zugleich Lohnabhängigkeiten der beruflichen Flexibilitäten modelliert, die eine Reaktion des Arbeitsange-

bots auf die sich veränderten Löhne in den Berufsfeldern ermöglichen. Jedoch wird mit dem QuBe-Projekt in der Basisprojektion ein Empirie-basiertes Konzept verfolgt: Es werden nur die bislang nachweisbaren Verhaltensweisen in die Zukunft projiziert. In der Vergangenheit nicht feststellbare Verhaltensänderungen sind somit nicht Teil der Basisprojektion. Dies gilt auch für die modellierten Marktanpassungsmechanismen. Alle Erneuerungen in der Modellierung sind ausführlich in Maier et al. 2014b beschrieben. Die Abbildung 5 gibt einen groben Überblick über die Funktionsweise des Modells.

Abbildung 5
QuBe-Projekt im Überblick



Quelle: eigene Darstellung

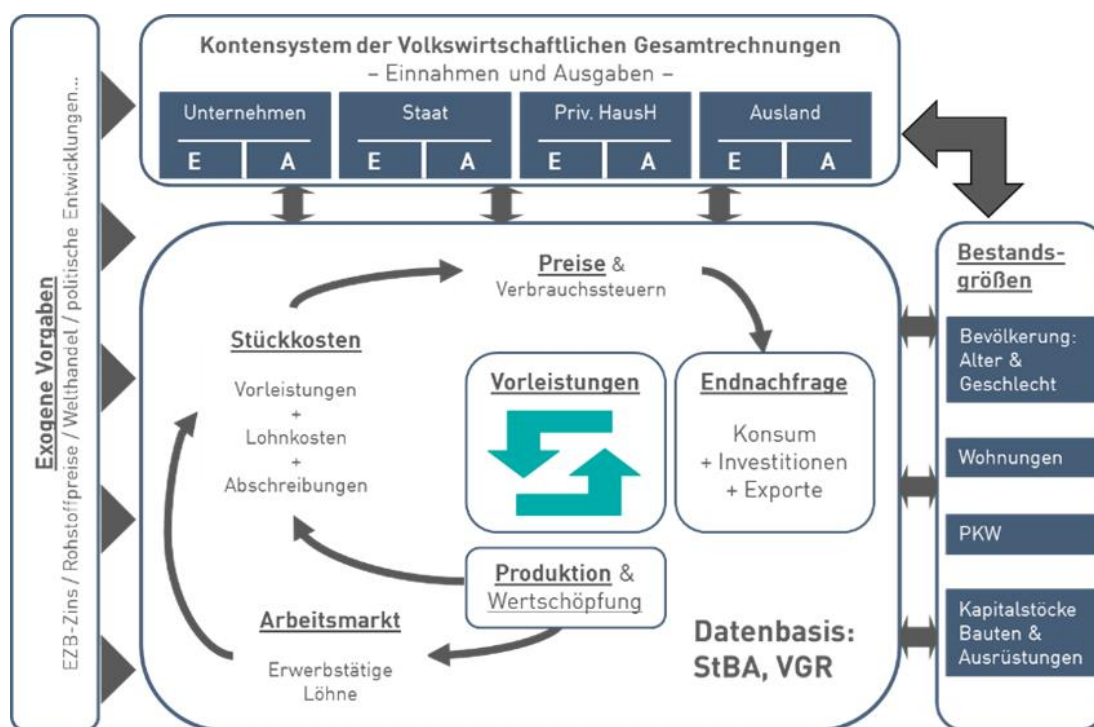
Weitere Informationen unter www.QuBe-Projekt.de.

Methodenkasten 2: Das IAB/INFORGE-Modell

Das IAB/INFORGE-Modell ist ein nach Produktionsbereichen und Gütergruppen tief disaggregiertes ökonometrisches Prognose- und Simulationsmodell für Deutschland, das von der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) entwickelt worden ist und seit 1996 durchgehend betrieben und aktualisiert wird (Schnur/Zika 2009). Das Modell beruht auf den Konstruktionsprinzipien „bottom-up“ und „vollständige Integration“. „Bottom-up“ besagt, dass die einzelnen Sektoren der Volkswirtschaft sehr detailliert modelliert und die gesamtwirtschaftlichen Variablen durch Aggregation im Modellzusammenhang gebildet werden. Damit gelingt sowohl eine lückenlose Darstellung der einzelnen Sektoren im gesamtwirtschaftlichen Zusammenhang und in der intersektoralen Verflechtung als auch eine Erklärung ge-

samtwirtschaftlicher Zusammenhänge, die die Volkswirtschaft als Summe ihrer Branchen begreift. „Vollständige Integration“ meint eine Modellstruktur mit der Abbildung der interindustriellen Verflechtung und einer Erklärung der Einkommensverwendung der privaten Haushalte aus der Einkommensentstehung in den einzelnen Sektoren (Abbildung 6). Die Exportnachfrage wird über die Außenhandelsverflechtung Deutschlands mit dem Rest der Welt bestimmt. Die prognostizierte Importnachfrage von 60 Ländern und Regionen bestimmen über bilaterale Handelsmatrizen die güterspezifischen Exporte aus Deutschland.

Abbildung 6
IAB/INFORGE im Überblick



Quelle: eigene Darstellung

Das IAB/INFORGE-Modell weist zwar einen sehr hohen Endogenisierungsgrad auf, kommt aber auch nicht ohne exogene Voreinstellung aus: Neben Instrumentvariablen der Fiskalpolitik wie die Steuersätze zählen dazu die Zentralbankzinsen der Europäischen Zentralbank, der Wechselkurs sowie die Preisentwicklung von Rohstoffen. Die Entwicklung in anderen Ländern stellt für die Bestimmung der deutschen Exporte ebenso wie die Bevölkerungsentwicklung und ihre Altersstruktur für das Arbeitsangebot eine exogene Größe dar.

3.2 Mögliche Parameter und Annahmen

Unter den oben diskutierten Einflüssen und Zusammenhängen werden im Folgenden die Stellschrauben (Parameter) im Modell Q-INFORGE Modell des QuBe-Projektes für eine Realisierung von Industrie 4.0 in der Landwirtschaft und im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland beschrieben. Die im Folgenden diskutierten

Stellschrauben beziehen sich auf die hinter dem Modell stehenden Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes.

Die Diskussion der Eingriffe erfolgt entlang der Input-Output-Tabelle in Abbildung 7. Die jeweiligen Eingriffe in die Input-Output-Tabelle werden im Folgenden erläutert und können über die jeweilige Nummerierung in der Input-Output-Tabelle verortet werden. Die Input-Output-Tabelle dient als Orientierungsraster, da nur sie ein branchenspezifisches Bild von Nachfrage, Vorleistungsverflechtung und Produktion gibt und die strukturellen Folgen der Industrie 4.0 nur hier explizit angesprochen und in einen gesamtwirtschaftlichen Rahmen eingeordnet werden können.

Die Einführung der Industrie 4.0 in die Volkswirtschaft wirkt auf die gekennzeichneten Bereiche. Zum einen sind die Bauinvestitionen ① betroffen. Diese enthalten unter anderem den Tiefbau, der den Ausbau des Leitungsnetzes („Schnelles Internet“) umfasst. Die Ausrüstungsinvestitionen ② geben nicht nur Aufschluss über die bezogenen Maschinen aus der Branche Maschinenbau, sondern auch über die notwendigen IT- und Informationsdienstleistungen. Beide Größen werden sich in Zusammenhang mit der Einführung von Industrie 4.0 verändern. Einen weiteren Teil der Bruttonanlageinvestitionen stellen die Vorratsveränderungen ③ dar: Sie geben Auskunft über die Veränderung der Lagerhaltung: negative Werte stehen für eine Verringerung des Lagers. Im Zuge des Einsatzes neuer Technologien ist eine Veränderung der Lagerhaltung grundsätzlich denkbar.

Während die Punkte ① bis ③ vor allem die notwendigen Investitionen beschreiben, geht es bei den folgenden Punkten um eine Veränderung der Nachfrage nach Gütern. Diese kann ausgelöst werden durch veränderte Preise: Produkte können günstiger werden. Ferner können neue Produkte oder veränderte Qualitäten zusätzlich Nachfrage generieren. Schließlich gibt es „begleitende“ Nachfrage, die sich zum Beispiel in einem höheren Bedarf nach Weiterbildung ausdrückt.

Die Exporte Deutschlands ④ werden, vereinfacht gesprochen, von der Entwicklung der Importnachfrage anderer Länder und der preislichen Wettbewerbssituation deutscher Produkte geprägt. Hinzu kommen langfristige Beziehungen zwischen Lieferant und Empfänger und auch qualitative Unterschiede deutscher Produkte. Sichtbar wird Letzteres an der Güterstruktur deutscher Exporte, die einen Schwerpunkt auf Chemie, Maschinenbau und Fahrzeugbau haben. Eine solche Schwerpunktbildung ist nicht ausschließlich auf preisliche Wettbewerbsvorteile zurückzuführen.

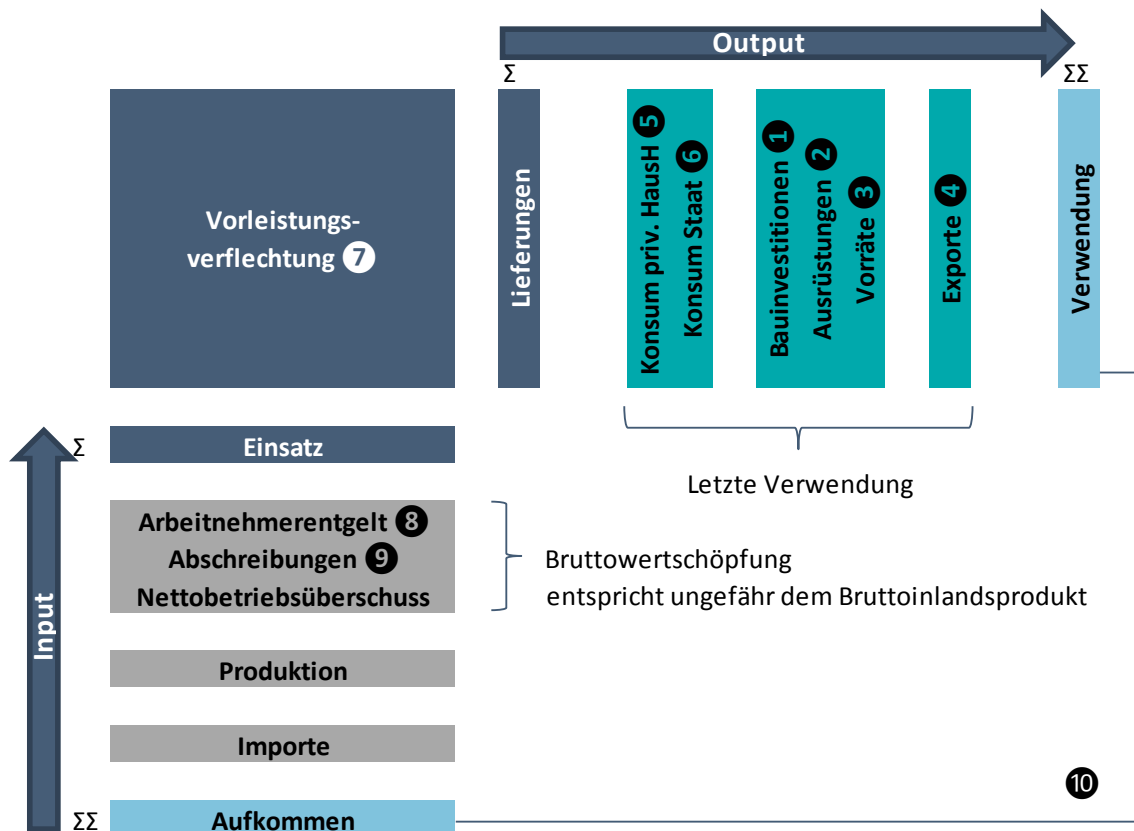
Auf die Exporte können im Rahmen eines Umbaus zu einer Industrie 4.0 direkte und indirekte Wirkungen einsetzen. Zum einen können veränderte Nachfragen wegen neuer Qualitäten oder Produkte entstehen, zum anderen wird der Produktionsprozess umgestellt, so dass auch die Exportpreise einem Wandel unterworfen sind.

Für die Nachfrage privater Haushalte ⑤ gilt Ähnliches: Es können neue Nachfragen entstehen oder es können sich Folgen auf Grund von neuen Preisentwicklungen

ergeben. Hinzu kommen eigenmotivierte Weiterbildungsausgaben privater Haushalte, um mit der technologischen Entwicklung Schritt zu halten. Die Konsumausgaben des Staates ⑥ umfassen u.a. die Ausgaben für Bildung. Dazu gehören auch die Aktivitäten der Bundesagentur für Arbeit, die im Rahmen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen als Teil der Sozialversicherungen beim Staat gebucht werden. Auch hier sind verstärkte Weiterbildungsmaßnahmen denkbar.

Die Vorleistungsverflechtung ⑦ der Produktionsbereiche untereinander gibt Auskunft über die Lieferungen („Welche Güter werden an welche Produktionsbereiche geliefert?“) (Zeile) und die Kostenstruktur (Spalte). Letztere gibt an, was an Gütern und Leistungen in welchem Umfang eingesetzt werden muss, um die Produktion zu ermöglichen. Die Industrie 4.0 wird diese Lieferstrukturen nachhaltig verändern. So ist anzunehmen, dass teilweise weniger (Rohstoffe, Halbfertigprodukte) und/oder andere (elektronische Erzeugnisse) Güter eingesetzt werden müssen. Gleichzeitig können vermehrte Dienstleistungsnachfragen hinzukommen (IKT). Da definitionsgemäß die Produktion abzüglich des Vorleistungseinsatzes die Wertschöpfung ergibt, wirken sich Veränderungen der Kostenstruktur unmittelbar auf diese aus. Aus der einzelwirtschaftlichen Sicht eines Unternehmens führen zurückgehende Materialaufwendungen, die auch bezogene Leistungen enthalten, bei einem unveränderten Umsatz zu einem höheren Rohertrag.

Abbildung 7
Schematische Darstellung der Input-Output-Tabelle



Quelle: eigene Darstellung.

Die Wertschöpfung selbst wird vereinfachend in Arbeitnehmerentgelte ⑧ (Personalkosten), Abschreibungen ⑨ und Nettobetriebsüberschuss (ähnlich zum Gewinn) aufgespalten. Die Arbeitnehmerentgelte sind von mehreren Einflussfaktoren betroffen. Verringert sich die Produktion, werden bei unveränderten Produktionsweisen auch weniger Arbeitskräfte benötigt. Eine solche Situation kann auftreten, wenn auf Grund der veränderten Kostenstrukturen anderer Produktionsbereiche die eigenen Güter weniger stark nachgefragt werden. Es kann aber auch zu Veränderungen der Arbeitsproduktivität kommen; bei einer unveränderten Produktion können in Zusammenhang mit Industrie 4.0 weniger Arbeitskräfte notwendig sein als zuvor.

Die Abschreibungen ⑨ werden direkt beeinflusst vom Investitionsgeschehen ①&②: So werden z. B. Aufwendungen für neue Maschinen über die gewöhnliche Nutzungsdauer verteilt und in Form von Abschreibungen auf der Kostenseite erfasst. Gleichzeitig kann technologischer Fortschritt dazu führen, dass Maschinen nicht mehr eingesetzt werden, da die Produktion mit ihnen nicht mehr wirtschaftlich ist oder die mit der Maschine erzeugten Güter keine Nachfrage mehr finden. In beiden Fällen kann es zu außergewöhnlichen Abschreibungen kommen, die durch eine Verringerung der gewöhnlichen Nutzungsdauer ausgelöst werden.

Die übrigen, eben nicht diskutierten Größen werden in der Regel zumindest indirekt beeinflusst. Das gilt z. B. für die Importe. Die Produktion ist das Ergebnis von Angebot (Preissetzung) und Nachfrage (① bis ⑥). Die Preissetzung kann durch Berechnung der Stückkosten erfolgen, welche sich aus dem Verhältnis des Vorleistungseinsatzes zuzüglich Lohn und Abschreibung relativ zur preisbereinigten Produktion ergeben.

Aufgrund der Fülle der Einflüsse von Industrie 4.0 auf das Wirtschaftsgeschehen ist a priori keine Aussage über das Gesamtergebnis, also die Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und die Anzahl und Struktur der Erwerbstätigen, möglich. Sämtliche diskutierten Folgen einer Industrie 4.0 wirken sich letztlich auf die gesamte Verwendung bzw. auf das gesamte Aufkommen aus. Schließlich müssen wegen der hinter der Input-Output-Tabelle stehenden doppelten Buchführung Aufkommen und Verwendung jedes produzierten Gutes gleich sein ⑩. In Folge dessen werden sowohl Veränderungen der Nachfrage als auch des Angebotes zu einem neuen Ergebnis führen.

Die gewählte Darstellung ist eine Vereinfachung. So werden ausgelöst durch die diskutierten Eingriffe die Lohn- und Gewinneinkommen verändert. Daraus ergeben sich Folgen für das Budget des Staates (direkte und indirekte Steuern) und der privaten Haushalte (Verfügbares Einkommen). Gleichzeitig verändert sich der Arbeitsmarkt. Die Anzahl und die Entlohnung der Arbeitskräfte sind einem Wandel ausgesetzt, woraus sich Folgen für die Erwerbslosigkeit und die finanzielle Ausstattungen der Sozialversicherungen ergeben. Auch wenn diese und weitere Zusammenhänge nicht dargestellt werden, sind sie doch im eingesetzten Modell Q-INFORGE abgebildet (Maier et al. 2014b).

3.3 Annahmen – generelle Einschätzungen

Wie in den vorliegenden Veröffentlichungen zum Thema Industrie 4.0 wird auch in dem hier dargestellten Szenario davon ausgegangen, dass Industrie 4.0 nicht ad-hoc eingeführt wird, sondern der Übergang ein langfristiger Prozess ist, der bis 2025⁶ anhält. Ab diesem Zeitpunkt gilt Industrie 4.0 als vollständig realisiert und wird bis zum Ende des Projektionshorizontes – 2030 – bestehen bleiben.

Industrie 4.0 wird nicht nur für Industrieunternehmen, sondern auch für Dienstleistungsunternehmen – wenn auch in einem anderen Ausmaß – von Relevanz sein. Eine vollständige Umsetzung der vierten industriellen Revolution würde somit Strukturveränderungen für alle Branchen der Volkswirtschaft bedeuten. Angesichts weniger vorliegender Referenzrechnungen und angesichts der besonderen Relevanz von Industrie 4.0 für Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes, konzentriert sich das Szenario auf Branchen des Verarbeitenden Gewerbes und die Landwirtschaft. Diese Branchen zeichnen sich in der Regel zum einen durch eine hohe Exportabhängigkeit und großen Beschäftigtenbestand aus und/oder werden viele der für die Industrie 4.0 benötigten Bauteile bzw. Maschinen herstellen. Für diese Branchen werden explizit die Kostenstrukturen und damit die Lieferbeziehungen zwischen Branchen verändert.

In der Literatur wird unter den Chancen und Potenzialen von Industrie 4.0 regelmäßig die Schaffung neuer Geschäftsmodelle, Produkte und Dienstleistungen für die Endnachfrage genannt. Die Möglichkeiten, die sich aus der Nutzung von Industrie-4.0-Technologien ergeben, sind unstrittig. Ob allerdings die Nachfrage auch für die neuen Geschäftsmodelle geschaffen wird und wenn, in welchem Umfang, ist ungewiss. Der in den oben genannten Studien meist sehr abstrakt dargestellte Effekt auf die Nachfrageseite aufgrund neuer Angebote (also nicht aufgrund einer durch Preissetzung veränderten Nachfrage) wird daher in dem vorliegenden Szenario durch angenommene Entwicklungen erst im letzten Teil-Szenario realisiert.

Eine Folge der durch Industrie-4.0-Technologien ausgelösten Kostenreduktion ist ein relativer Kostenvorteil von in Deutschland hergestellten Produkten. Daraus kann sich eine Repatriierung von ins Ausland verlagerten Produktionsprozessen ableiten, was sich in einer Reduktion der Vorleistungsimporte ausdrücken würde. In dem vorliegenden Szenario wird allerdings von keiner Rückkehr von Produktionsstandorten nach Deutschland ausgegangen, weil in den bereits genannten Hintergrundgesprächen kein Hinweis auf eine solche Entwicklung identifiziert werden konnte.

Ferner geht das Szenario davon aus, dass Deutschland im Vergleich zu allen anderen Ländern sehr früh mit der Einführung und Umsetzung der Industrie 4.0 beginnt. Nur so kann es gelingen, „temporäre Monopolgewinne“ gegenüber ausländischen Konkurrenten zu erwirtschaften. Grundsätzlich ist davon auszugehen, und internati-

⁶ Es werden auch spätere Zeitpunkte für eine vollständige Umsetzung genannt.

onale Studien belegen dies (Berger 2014), dass Deutschland nicht das einzige Land ist, in dem die vierte industrielle Revolution verfolgt wird. Auch in den USA oder China sind Bestrebungen zu beobachten, die Produktivitätspotenziale der Industrie-4.0-Technologien zu realisieren. Eine mögliche Folge der schnelleren Realisierung von Industrie 4.0 im Ausland könnte sein, dass die Importstruktur Deutschlands sich verändern müsste. Diese Annahme kann also zu einer Überschätzung der tatsächlichen Folgen führen.

4 Szenario-Rechnungen und Ergebnisse

Im Folgenden wird, basierend auf den dargestellten Zusammenhängen, eine Reihe von Annahmen in das QuBe-Modell (Q-INFORGE; Maier et al. 2014a) eingesetzt. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden in Tabelle 1 die Annahmen gelistet und den einzelnen Teil-Szenarien (TSZ) und Gesamt-Szenarien, die im Folgenden beschrieben und deren Ergebnisse diskutiert werden, zugewiesen. Die detaillierte Beschreibung der Annahmen erfolgt beim jeweiligen Teil-Szenario. Dabei beziehen sich die jeweiligen Annahmen auf die entsprechende Nummer in Tabelle 1.

Tabelle 1
Liste der Annahmen

Annahmen	Teil-Szenarien	Gesamt-Szenario 1	Gesamt-Szenario 2						
Ausrüstungsinvestitionen									
1 Zusätzliche Investitionen	TSZ 1	ohne Nachfrageänderung	mit Nachfrageänderung						
2 Umrüstung des Kapitalstocks Sensorik									
3 Umrüstung des Kapitalstocks IT-Dienstleistungen									
Bauinvestitionen									
4 Investitionsvolumen "Schnelles Internet"	TSZ2			ohne Nachfrageänderung	mit Nachfrageänderung				
5 ... und Verteilung									
6 ausgeglichener Finanzierungssaldo des Staates									
Material- und Personalaufwendungen									
7 ... Weiterbildung	TSZ3					ohne Nachfrageänderung	mit Nachfrageänderung		
8 ... Beratungsleistungen									
9 ... Digitalisierung									
10 ... Anteiliger Rückgang der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie bezogener Leistungen									
11 ... steigenden Arbeitsproduktivität									
Veränderung der Berufsfeldstrukturen									
12 Anpassung der Berufsstruktur nach Branchen unter Beachtung der Routine	TSZ4							ohne Nachfrageänderung	mit Nachfrageänderung
13 Anpassung der der Arbeitsproduktivität									
Nachfragesteigerungen									
14 ... Exportsteigerungen	TSZ5	ohne Nachfrageänderung	mit Nachfrageänderung						
15 ... zusätzliche Nachfrage der Privaten Haushalte									

Vergleich mit dem Referenz-Szenario (Basisprojektion) QuBe-Projekt

Quelle: eigene Darstellung.

4.1 Ausrüstungsinvestitionen (Teil-Szenario 1)

Eine entscheidende Frage für die wirtschaftliche Entwicklung ist, wie viele zusätzliche Investitionen in Ausrüstungen und in welchem Zeitraum beim Übergang in die Industrie 4.0 anfallen. Diese Frage ist nicht abschließend zu beantworten, da neu gekaufte Ausrüstungsgüter bereits die notwendigen Eigenschaften haben können, aber eventuell im Rahmen der allgemeinen Ersetzungsprozesse neu angeschafft wurden. Daher kann nur anhand von Plausibilitätsüberlegungen versucht werden, Annahmen über die zusätzlichen Investitionen zu treffen.

(Annahmen ① und ②) Ein Teil der bestehenden Ausrüstungsgüter wird um- bzw. aufgerüstet, indem die Kontrollgeräte ausgetauscht und die dazu notwendigen IT-Dienstleistungen bezogen werden.

Gemessen am Kapitalstock für Ausrüstungen haben die Ausrüstungsinvestitionen einen Anteil von circa 10 Prozent. Das heißt, normalerweise wird der Kapitalstock alle zehn Jahre ausgetauscht. Es wird angenommen, dass von den letzten zehn Investitionsjahrgängen nur die neuesten fünf in den nächsten Jahren mit Industrie-4.0-fähigen Kontrollinstrumenten ausgestattet werden. Für die älteren Anlagen lohnt es sich nicht mehr, da diese in den kommenden fünf Jahren turnusgemäß ausgetauscht werden. Ferner wird davon ausgegangen, dass nicht nur Kontrollinstrumente, sondern auch IT-Leistungen notwendig sind, um die betroffenen Maschinen in den neuen Produktionsprozess zu integrieren.

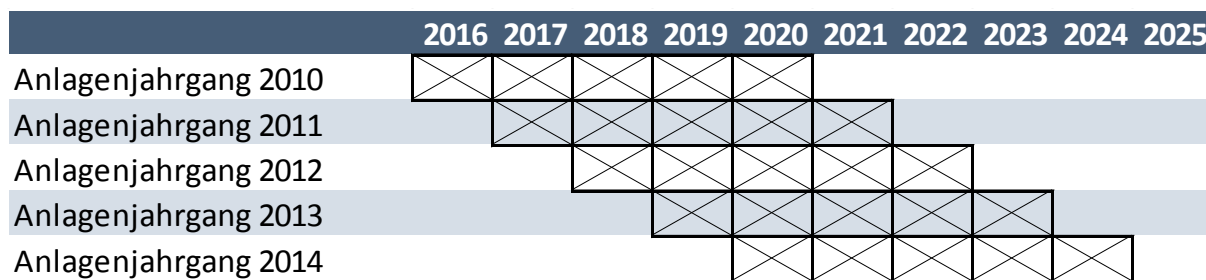
Laut der Input-Output-Tabelle 2010⁷, werden von den 193 Mrd. € Ausrüstungsinvestitionen insgesamt 7,7 Mrd. € für „Mess-, Kontroll- u. a. Instrumente und Einrichtungen, elektromedizinische Geräte sowie Datenträger“ ausgegeben. Weitere 21,1 Mrd. € entfallen auf „IT- und Informationsdienstleistungen“. Beide zusammen haben einen Anteil von rund 15 Prozent an den Ausrüstungsinvestitionen insgesamt.

Da die Produktionsstatistik keine Informationen über den Anteil der Mess- und Kontrollinstrumente an den genannten 7,7 Mrd. € liefert, der für den Datenaustausch mit der Maschine notwendig ist, nehmen wir an, dass er sich auf 25 Prozent beläuft. Für die IT-Dienstleistungen (insgesamt 21,1 Mrd. €) wird der gleiche Anteil angenommen. Für einen „normalen“ Investitionsjahrgang von 193 Mrd. € entfallen somit rund 7,25 Mrd. € oder 3,75 Prozent auf notwendige Sensorik und IT-Dienstleistungen.

Des Weiteren wird unterstellt, dass nur 50 Prozent der in Frage kommenden Maschinen tatsächlich umgerüstet werden. Daraus folgt dann eine jährliche Investitionssumme von ca. 3,6 Mrd. € die zusätzlich investiert werden müsste. Ferner wird angenommen, dass heute fünf Jahre alte Maschinen in den nächsten fünf Jahren umgerüstet werden. Das gilt auch für die vier folgenden Jahrgänge nur um jeweils ein Jahr nach hinten versetzt. So werden die für die Umrüstung notwendigen Investitionen von preisbereinigt ca. 18 Mrd. € auf neun Jahre gestreckt. Der Nachrüstungsaufwand bezieht sich somit auf die Jahre 2016 bis 2024 (Abbildung 8).

⁷ Input-Output-Tabelle des Jahres 2010 vor der Revision der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen.

Abbildung 8
Vintagen der Umrüstungsinvestitionen



Quelle: eigene Darstellung.

(Annahme **3**) Neben den für die Aufrüstung bestehender Ausrüstungsgüter notwendigen Investitionen werden für den Umbau zur Industrie 4.0 die derzeitigen Investitionen von ca. 300 Mrd. € preisbereinigt insgesamt pro Jahr um zusätzlich 0,5 Prozent erhöht. Im Referenzlauf steigen die Investitionen bis 2025, so dass im Durchschnitt der Jahre 15 Mrd. € preisbereinigt hinzukommen, also pro Jahr 1,5 Mrd. €

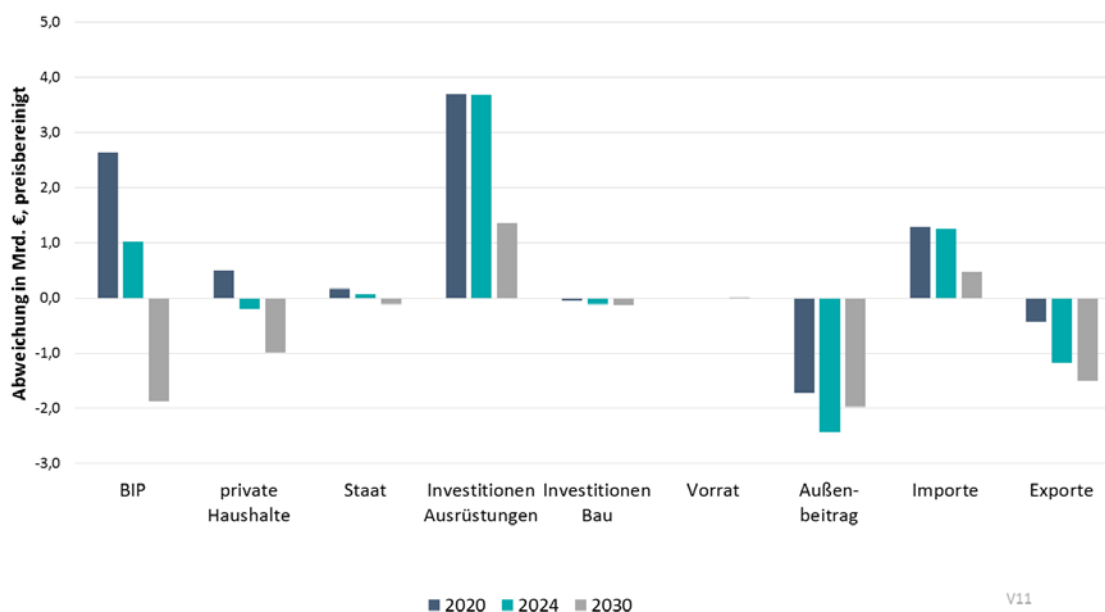
Über den gesamten Projektionszeitraum (2016–2030) entspricht das zusätzliche Investitionen in Höhe von 22,5 Mrd. €. Die investierenden Wirtschaftszweige (vereinfacht: Branchen) finden sich im Verarbeitenden Gewerbe und in der Landwirtschaft. Bei der Zuordnung der Investitionen der Branchen zu den Investitionsgütern, wird unterstellt, dass nur die Gütergruppen (GG) betroffen sind, die auch tatsächlich eine Industrie 4.0-Fähigkeit sicherstellen. Im Einzelnen sind dies die folgenden Gütergruppen:

- (1) GG 27 - Elektrische Ausrüstungen
- (2) GG 28 - Maschinen
- (3) GG 33 - Reparatur, Instandhaltung und Installation von Maschinen und Ausrüstungen
- (4) GG 62-63 - IT- und Informationsdienstleistungen

Insgesamt (Annahme **1** - **3**) werden in den Jahren 2016 bis 2025 rund 33 Mrd. € preisbereinigt mehr als im Referenz-Szenario investiert. Dieser Wert setzt sich zusammen aus einem preisbereinigten Investitionsvolumen von 18 Mrd. € in Sensorik und IT-Dienstleistungen sowie weitere 15 Mrd. € (preisbereinigt) über zusätzliche Investitionen in Höhe von 1,5 Mrd. € jährlich. Im Zeitraum von 2026 bis 2030 setzen sich die allgemeinen zusätzlichen jährlichen Investitionen fort, so dass das Investitionsvolumen insgesamt bis 2030 um weitere 7,5 Mrd. € auf 39,5 Mrd. € ansteigt. Im Modellzusammenhang ergeben sich darüber hinaus noch weitere indirekt verursachte Investitionen. Die Finanzierung der Investitionen geschieht über die Abschreibungen, die entweder den Gewinn der Unternehmen schmälern oder eine Überwälzung in die Ab-Werk-Preise ergeben.

Ein Blick auf die Komponenten des Bruttoinlandsproduktes (Abbildung 9) zeigt, dass nach Abschluss der Nachrüstungsphase im Jahr 2024 die Ausrüstungsinvestitionen zwar immer noch höher als im Referenz-Szenario sind, aber der Abstand sich verringert. Das Bruttoinlandsprodukt fällt im Jahr 2030 sogar niedriger als im Referenz-Szenario aus, da die zusätzlichen Investitionen der Jahre 2016 bis 2024 weiterhin Kosten in Form von Abschreibungen verursachen. Auch der Export leidet, weil sich die Produktionspreise wegen der Abschreibungen im Vergleich zum Referenz-Szenario erhöhen.

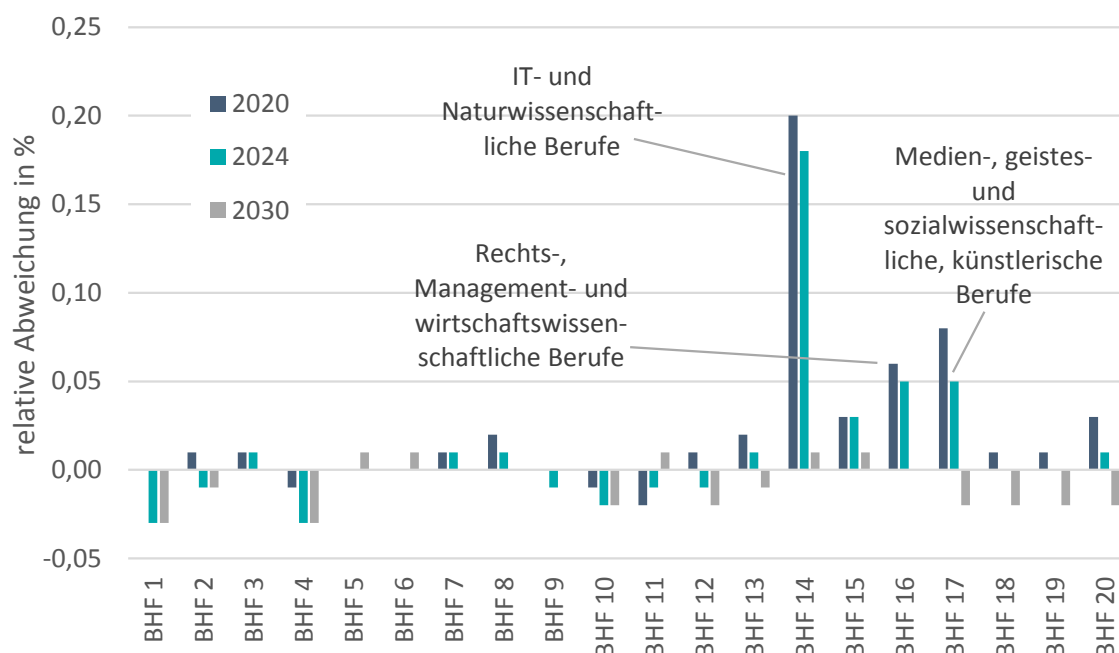
Abbildung 9
Teil-Szenario 1 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Das Ergebnis ist nicht verwunderlich, da das Teil-Szenario 1 allein unvollständig ist: Bisher wurden nur Ausgaben in das Modell eingefügt, aber keine Erträge. Dennoch können erste Veränderungen der Berufsfeldstruktur festgestellt werden (Abbildung 10). Mit dem Investitionsanstieg und dem damit verbundenen höheren Wachstum insgesamt werden insbesondere die IT- & naturwissenschaftliche Berufe (BHF 14) sowie Medien-/Geisteswissenschaftliche Berufe (BHF 17) (inklusive Design) sowie Managementberufe (BHF 16) anfangs vermehrt nachgefragt. Der Anstieg von BHF 14 wird vor allem durch die speziell angesprochenen IT-Dienstleistungen ausgelöst.

Abbildung 10
Teil-Szenario 1 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

4.2 Bauinvestitionen (Teil-Szenario 2)

Auch wenn sich diese Studie auf die Auswirkungen von Industrie 4.0 und nicht der Wirtschaft 4.0 konzentriert, so ist auch für Unternehmen der Industrie der Ausbau zu einem „schnellen Internet“ eine wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung einer digitalen Wirtschaftsweise. Laut der Studie des TÜVRheinland im Auftrag des BMWi (TÜVRheinland 2013) belaufen sich die Kosten für einen Ausbau auf ca. 20 Mrd. €, damit 100 Prozent der Haushalte einen Anschluss an 50 Mbit/s-Netze erhalten. Wird eine 95-prozentige Versorgung angestrebt, betragen die Kosten 12 Mrd. €.

(Annahme 4) In den kommenden drei Jahren müssen jeweils 4 Mrd. € in den Ausbau investiert werden, damit im Jahr 2018 rund 95 Prozent aller Haushalte einen Anschluss an ein 50 Mbit/s-Netze haben.

Laut der Studie soll das Ziel der flächendeckenden Bereitstellung (also 100 Prozent) bis 2018 erreicht werden. Unter der Annahme, dass in den Jahren 2014 und 2015 kaum zusätzliche Investitionen getätigt worden sind, stehen nur noch die Jahre 2016, 2017 und 2018 zeitlich zur Verfügung. Wegen der knappen Zeit und der hohen Investitionsbedarfe wird wahrscheinlich nur ein Ausbau auf 95 Prozent bis Ende 2018 erreicht, so dass in den kommenden drei Jahren jeweils 4 Mrd. Euro zusätzlich investiert werden müssen.

(Annahme 5) In der Regel werden kabelgebundene Technologien (TÜVRheinland 2013) eingesetzt. Demzufolge werden im Modell Q-INFORGE Tiefbauarbeiten und der Einsatz von elektronischen Ausrüstungen (u. a. Kabel) betroffen sein. Die elektronischen Ausrüstungen stellen nur einen geringen Anteil der Bauinvestitionen: Laut

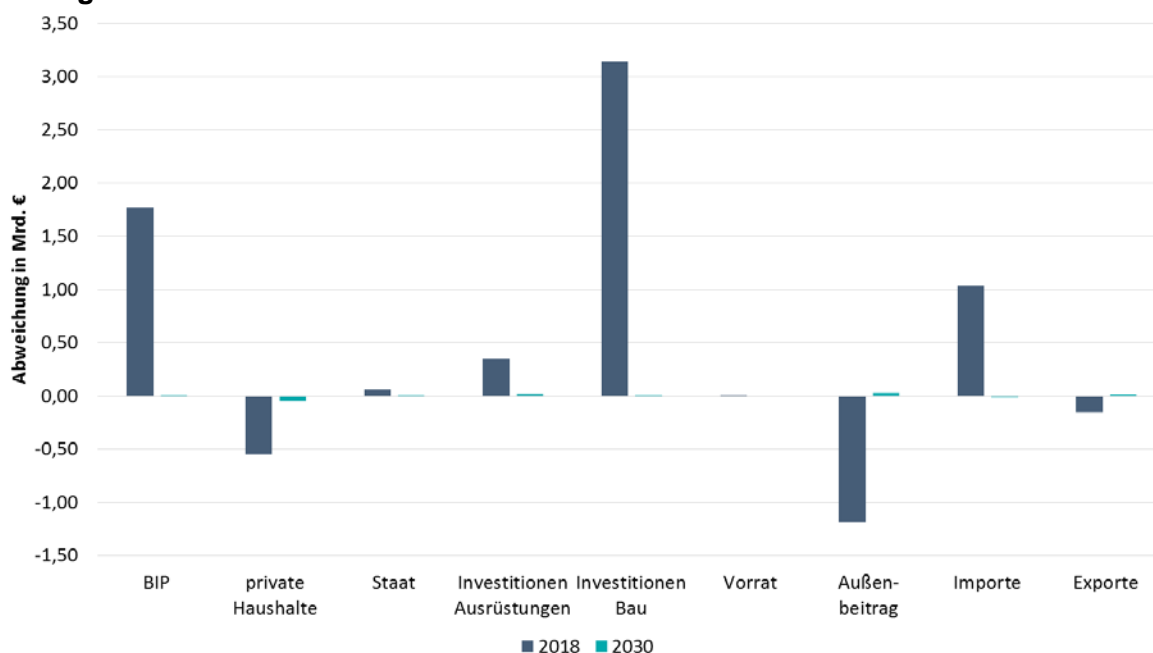
Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes circa 1 Prozent. Daher wird angenommen, dass dieser Teil der Investitionen bereits in der Vergangenheit zu großen Teilen für den Leitungsausbau eingesetzt worden ist und nun um 100 Prozent (also circa 1 Mrd. € pro Jahr) steigt. Die übrigen 3 Mrd. € werden für Tiefbauleistungen ausgegeben. Die Gegenbuchung erfolgt vollständig bei den Investitionen des Staates.

(Annahme ⑥) Der Staat finanziert die notwendigen Investitionen nicht über neue Schulden. Vielmehr wird unterstellt, dass der Finanzierungssaldo des Staates unverändert bleibt.

Für die Finanzierung könnten also beispielsweise im Zeitverlauf entstehende zusätzliche Steuereinnahmen verwendet werden. Wenn allerdings im Vergleich zum Referenz-Szenario nicht genügend zusätzliche Steuereinnahmen erzielt werden, müssen Steuern erhöht (oder geplante Senkungen verschoben) werden, um einen unveränderten Finanzierungssaldo zu erreichen. Gegensätzlich hierzu würde eine Finanzierung über Schulden oder aus Überschüssen, die dann nicht zur Schuldentilgung eingesetzt werden, eine stärkere Wirkungen nach sich ziehen.

Die Abbildung 11 zeigt die Wirkungen auf die Komponenten für die Jahre 2018 und 2030. Dabei wurde das Jahr 2018 abweichend von den anderen Darstellungen ausgewählt, weil es das letzte Jahr der zusätzlichen Bauinvestitionen darstellt. In 2020 liegen keine zusätzlichen Investitionen vor. In 2018 ist im Vergleich zum vorangegangenen Teil-Szenario 1 der deutliche Anstieg der preisbereinigten Bauinvestitionen zu erkennen. Die Folgen für das Bruttoinlandsprodukt sind allerdings geringer. Gleichzeitig sind auch mit Bauinvestitionen Importe von Vorleistungsgütern verbunden, die zu einem Rückgang des Außenbeitrages führen. In 2030 sind keine Wirkungen übrig geblieben, da auch das Teil-Szenario 2 nur unterstellt, dass ausgebaut wird, nicht aber, dass die neuen Möglichkeiten auch genutzt werden.

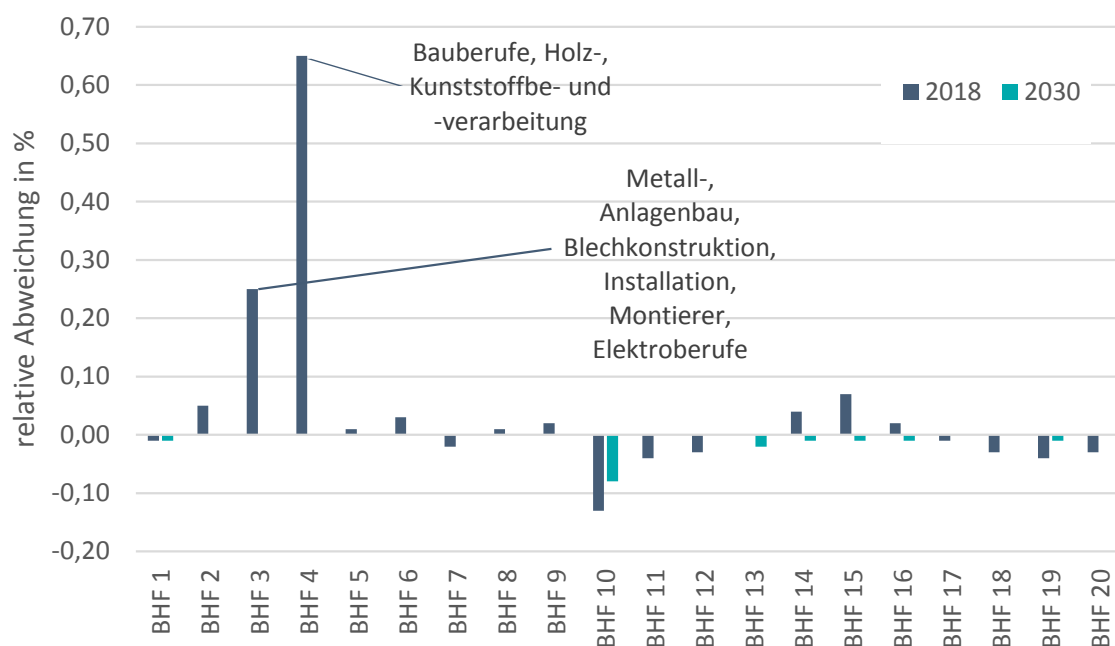
Abbildung 11
Teil-Szenario 2 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Teil-Szenario 1



Quelle: eigene Darstellung.

So geben auch die Veränderungen der Berufshauptfelder nur einen Eindruck von den ausschließlichen Wirkungen der Bauinvestitionen (Abbildung 12). Dennoch wird sichtbar, dass der spezielle Eingriff in die Bauinvestitionen (Tiefbau und elektronische Ausrüstungen) vor allem Berufe des Baugewerbes aber auch des Metall- und Anlagebaus anspricht.

Abbildung 12
Teil-Szenario 2 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 1



Quelle: eigene Darstellung.

4.3 Material- und Personalaufwand (Teil-Szenario 3)

Im folgenden Teil-Szenario 3 werden für die investierenden Produktionsbereiche Material- und Personalaufwendungen eingeführt. Bisher haben die Unternehmen investiert (Teil-Szenario 1&2). Erträge aus den Investitionen wurden bisher nicht berücksichtigt. Immerhin werden bis 2025 annahmegemäß kumuliert mehr als 33 Mrd. € preisbereinigt zusätzlich ausgegeben. Allerdings sind zur bestmöglichen Ausschöpfung der potenziellen Effizienzgewinne weitere Ausgaben in Weiterbildung, Beratungsleistungen und IT-Dienstleistungen nötig. Letztlich drückt sich der Ertrag der Investitionen in der Veränderung der Kostensituation aus. Dazu werden fünf Eingriffe vorgenommen. Drei betreffen die zusätzliche Ausgaben (Kostensteigerungen) und zwei mögliche Ersparnisse (Kostensenkungen). Im Ergebnis ändern sich die Material- und Personalaufwendungen, die ein Unternehmen hat:

Kostensteigerungen:

- (1) Erhöhung der anteiligen Ausgaben der Unternehmen (Produktionsbereiche) für Weiterbildung,
- (2) Erhöhung der Kostenanteile der Unternehmen für Beratungsleistungen und
- (3) massiver Einsatz zusätzlicher IT-Dienstleistungen.

Kostensenkungen:

- (4) Senkung der Materialaufwandsquoten (Materialaufwendungen relativ zum Umsatz) durch Reduktion von Verschleiß und Verschnitt,
- (5) Senkung der Personalaufwandsquote durch Verbesserung der Arbeitsproduktivität.

Während die Annahmen zur Weiterbildung (siehe oben) zur Beratungsleistung und zu dem Einsatz zusätzlicher IT-Dienstleistungen noch relativ gut abgeschätzt werden können, ist die Einsparung an Material und Arbeitseinsatz von vielen, hier nicht berücksichtigten Einflussfaktoren abhängig. So ist davon auszugehen, dass die Produktionsbereiche einen unterschiedlich hohen Anteil an Verschnitt haben (z. B. Oberflächenveredelung, Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen sowie Metalltanks zwischen 2 bis 6 Prozent (Emec et al. 2013). Ebenso fällt bei unterschiedlichen Gewerken mehr Verschnitt an als bei anderen. Bei der Erstellung von Holzfenstern kann der Verschnitt bis zu 50 Prozent betragen (Mantau et al. 2013).

Gleichzeitig ist die große Unsicherheit hinsichtlich der Annahmen (4 & 5) mit erheblichen Auswirkungen auf Wertschöpfung und die Verteilung verbunden. So lieferten sich die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes im Jahr 2010 laut Input-Output-Tabelle gegenseitig Vorleistungen im Wert von 720 Mrd. €. Eine Einsparung von nur einem Prozent würde unter der Annahme, dass sich sonst nichts verändert (ceteris paribus-Annahme), einen Zuwachs der Wertschöpfung von 7,2 Mrd. € in einem Jahr bedeuten. Bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt ist das ein Zuwachs von rund 0,3 Prozent. Der Vorteil eines reduzierten Materialaufwandes auf Grund eines neuen Produktionsprozesses bleibt dann für alle folgenden Jahre bestehen. Nach zehn

Jahren ist dann ein Wertschöpfungszuwachs von 72 Mrd. € entstanden, der dann schon die ausgeführten Investitionen in Höhe von 33 Mrd. € (preisbereinigt) überschreiten würde. Um eine geeignete, nicht zu optimistische Annahme zu treffen, macht es Sinn, sich die drei Annahmen zu den Kostensteigerungen zuerst anzusehen.

(Annahme 7) Die Unternehmen der Landwirtschaft und des Verarbeitenden Gewerbes müssen in den kommenden Jahren zusätzliche Mittel für Weiterbildung aufwenden, um die Vorteile der Industrie 4.0 nutzen zu können. Pro Mitarbeiter werden zusätzliche Ausgaben von 1.000 € veranschlagt.

Im Verarbeitenden Gewerbe arbeiten rund 7 Mio. Personen. Wird jeder geschult, dann werden in den nächsten zehn Jahren 7 Mrd. € oder jährlich 0,7 Mrd. € ausgegeben. Bereits heute werden laut Input-Output-Tabelle 2010 rund 1,2 Mrd. € pro Jahr für den Bezug von Unterrichtsleistungen von außenstehenden Anbietern ausgegeben. Wir gehen ferner davon aus, dass die Unternehmen auch interne Weiterbildung in gleicher Höhe betreiben. Es werden also rund 2,4 Mrd. € von allen Unternehmen ausgegeben. Somit stellt der Anstieg von 0,7 Mrd. € einen Zuwachs von etwa 30 Prozent dar. Es wird ferner unterstellt, dass die Kosten pro Unterrichtseinheit in den nächsten zehn Jahren steigen werden. Der Anstieg der Kosten folgt der Preisentwicklung des Wirtschaftszweiges Erziehung und Unterricht. In den Jahren 2010 bis 2016 werden das rund 20 Prozent sein.

(Annahme 8) Es sind zusätzliche Beratungsleistungen in Höhe von 1,5 Prozent notwendig, um die neue Produktionsweise im Unternehmen zu implementieren.

Nach der Input-Output-Tabelle bezieht das Verarbeitende Gewerbe für rund 26 Mrd. € Dienstleistungen von außen. 1,5 Prozent mehr Ausgaben für Beratungsleistungen entspricht bei einem Produktionswert der betroffenen Branchen (Landwirtschaft und Verarbeitendes Gewerbe) in Höhe von 1.600 Mrd. € rund 0,4 Mrd. € mehr. Bis 2025 steigen die Ausgaben bedingt durch Preisentwicklungen und erhöhen den Betrag weiter.

(Annahme 9) Der Grad der Digitalisierung innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes wird von heute 20 auf 40 Prozent steigen.

Laut PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft (PWC 2014) ist für eine Umsetzung von Industrie 4.0 zwar ein Digitalisierungsgrad von 80 Prozent vonnöten, gemessen an den heutigen Ausgaben für IT-Dienstleistungen müsste bei linearen Zusammenhängen also von einer Vervielfachung ausgegangen werden. Allerdings erscheint dies eine extreme Annahme zu sein, weshalb „nur“ eine Verdopplung angenommen wird. In 2010 geben die Produktionsbereiche des Verarbeitenden Gewerbes laut Input-Output-Tabelle rund 7,6 Mrd. € aus. Eine Verdopplung impliziert unter sonst gleichen Bedingungen einen Anstieg auf 15 Mrd. €. Der Übergang beginnt in 2016 und endet 2025. Hinzu kommen Preisentwicklungen, so dass die nominalen zusätzlichen Ausgaben in 2025 größer als 7,6 Mrd. € sind.

Um einen Überblick über die Aufwendungen und Investitionen der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes zu erlangen, werden die impliziten Geldflüsse zusammenhängend betrachtet. Damit sich die Ausgaben (Annahmen 7 8 9) und Investitionen in Ausrüstungen (Annahmen 1 2 3) rentieren, müssen die mit den Material- und Personalaufwendungen einher gehenden Kosteneinsparungen mindestens die zusätzlichen Ausgaben in den nächsten zehn Jahren decken.

(Annahmen 10 & 11) Die getätigten Ausgaben erwirtschaften eine Rendite in Höhe von 9,3 Prozent (diskontiert: 4,7 Prozent) und die hierzu nötigen Einsparungen in Höhe von 1,2 Prozent im Jahr 2025 fallen bei den Vorleistungseinsätzen im Bereich der Roh-, Halb- und Fertigprodukte, an Energie und Wasser sowie beim Arbeitseinsatz anteilig an.

In jedem Produktionsprozess der Landwirtschaft und des Verarbeitenden Gewerbes werden also 1,2 Prozent weniger für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie für bezogene Waren eingesetzt, um eine unveränderte Produktion zu gewährleisten (Tabelle 2). Bezogen auf die Arbeitskosten heißt dies, dass die Arbeitskräfte effizienter eingesetzt werden können und somit die Arbeitsproduktivität um 1,2 Prozent steigt. Die Anzahl der Stunden, die für die Produktion in einer Branche des Verarbeitenden Gewerbes oder in der Landwirtschaft eingesetzt werden, gehen um 1,2 Prozent zurück.

Im Jahr 2024 werden die kumulierten Einsparungen erstmals die kumulierten Kosten (Zahlungen) übersteigen. Die dargestellten Zahlungen sind inklusive Preisveränderungen und indirekter Folgewirkungen.

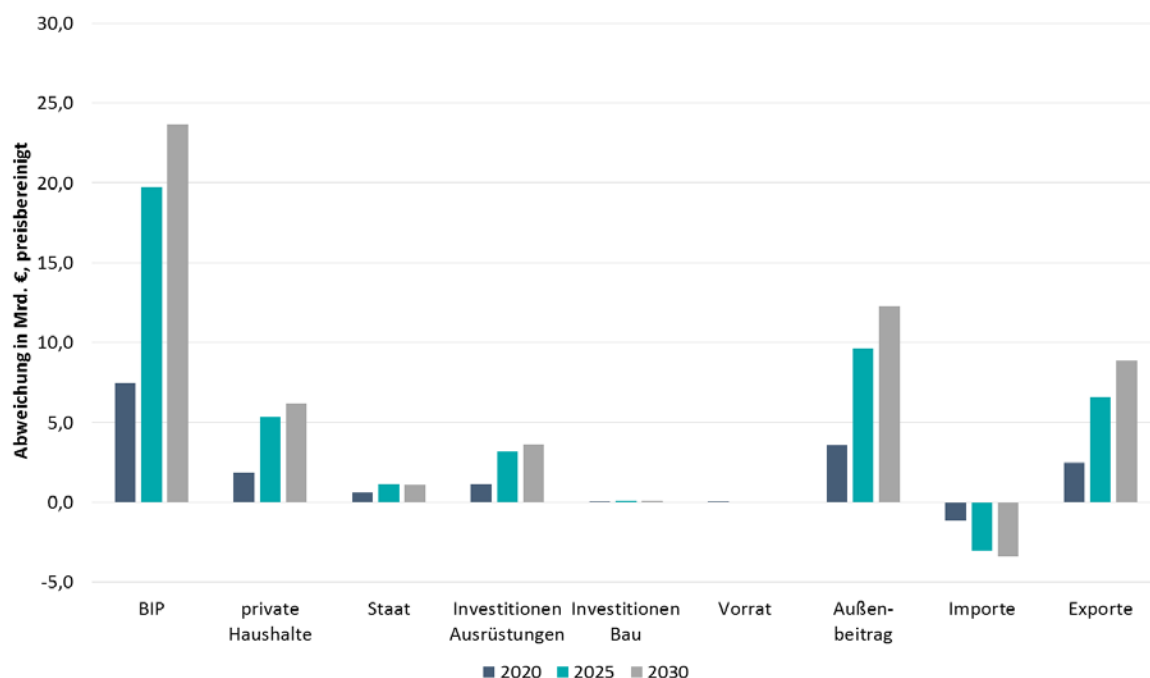
Tabelle 2
Gegenüberstellung von Kosten (Zahlungen) und Einsparungen, nominal

In Mio. € Gerundet auf 100 Mio.	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Kumuliert	Diskontiert auf 2015
Weiterbildung	900	900	900	1.000	1.000	1.000	1.100	1.100	1.100	1.200	10.200	7.800
Beratung	500	500	600	600	600	600	700	700	700	700	6.200	4.700
IT-DL	500	1.000	1.600	2.300	3.100	4.000	4.900	6.000	7.200	8.600	39.200	27.500
Investitionen	3.800	4.100	4.100	3.900	3.800	3.900	4.000	4.200	4.400	2.400	38.600	30.000
Kosten (Zahlungen)	5.700	6.500	7.200	7.800	8.500	9.500	10.700	12.000	13.400	12.900	94.200	70.000
Kumuliert	5.700	12.200	19.400	27.200	35.700	45.200	55.900	67.900	81.300	94.200		
... Vorleistungen	1.200	2.500	3.900	5.300	6.900	8.400	10.100	11.800	13.600	15.100	78.800	56.000
... Lohnzahlungen	400	900	1.300	1.700	2.200	2.600	3.100	3.500	4.000	4.500	24.200	17.300
Einsparungen	1.600	3.400	5.200	7.000	9.100	11.000	13.200	15.300	17.600	19.600	103.000	73.300
Kumuliert	1.600	5.000	10.200	17.200	26.300	37.300	50.500	65.800	83.400	103.000		
Ergebnis	-4.100	-3.100	-2.000	-800	600	1.500	2.500	3.300	4.200	6.700	8.800	3.300
Kumuliert	-4.100	-7.200	-9.200	-10.000	-9.400	-7.900	-5.400	-2.100	2.100	8.800		
Rendite (Ergebnis im Verhältnis zu Kosten)											9,3	4,7

Quelle: eigene Darstellung.

Anders als aus einzelwirtschaftlicher Sicht, ist das Ergebnis der Annahmen gesamtwirtschaftlich kein Nullsummenspiel, da Deutschland keine geschlossene Ökonomie ist: Zwar können die investierenden Unternehmen bei der in Tabelle 2 gezeigten Entwicklung einen zusätzlichen Gewinn verzeichnen, allerdings werden auch in anderen Branchen zusätzliche Nachfragen erzeugt (z. B. IKT). Außerdem werden die Kosteneinsparungen nicht nur bei deutschen Zulieferern erfolgen, sondern auch bei ausländischen. Die Importe sinken. Ferner verringern sich für die Unternehmen der Landwirtschaft und des Verarbeitenden Gewerbes die Stückkosten, so dass sich die Wettbewerbsfähigkeit verbessert und z. B. mehr Exporte erzielt werden können. Abbildung 13 zeigt die Wirkungen des Teil-Szenarios 3 auf die Komponenten des Bruttoinlandsproduktes im Vergleich zum Teil-Szenario 2.

Abbildung 13
Teil-Szenario 3 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Teil-Szenario 2

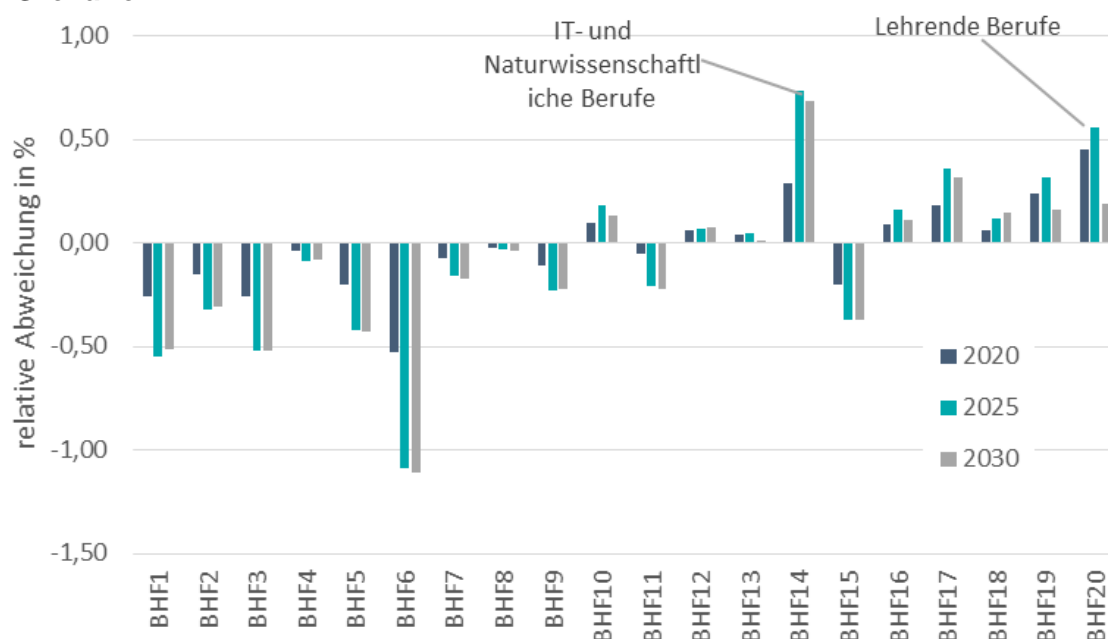


Quelle: eigene Darstellung.

Der Außenbeitrag verbessert sich; die positiven Impulse steigern via Einkommenskreislauf die Konsumnachfragen der privaten Haushalte. Ferner können die Steuereinnahmen (direkt und indirekt) und damit die Finanzkraft des Staates zulegen. Insgesamt ist das Bruttoinlandsprodukt deutlich größer. Die Wirkung steigert sich im Zeitablauf, erst ab 2025 sind alle Kosteneinsparungen vollständig umgesetzt worden.

Die Struktur der Berufshauptfelder hat sich ebenfalls verändert. Insgesamt nimmt die Nachfrage nach Dienstleistungsberufen zu Lasten von Berufen des Verarbeitenden Gewerbes zu. Besonders profitieren können IT- und Naturwissenschaftliche Berufe (BHF 14). Auf Platz zwei folgen die Lehrenden Berufe (BHF 20), unter denen sich nicht nur Lehrkräfte an allgemeinbildenden und beruflichen Schulen befinden, sondern auch Personen, die in der Erwachsenenbildung tätig sind (Abbildung 14).

Abbildung 14
Teil-Szenario 3 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 2

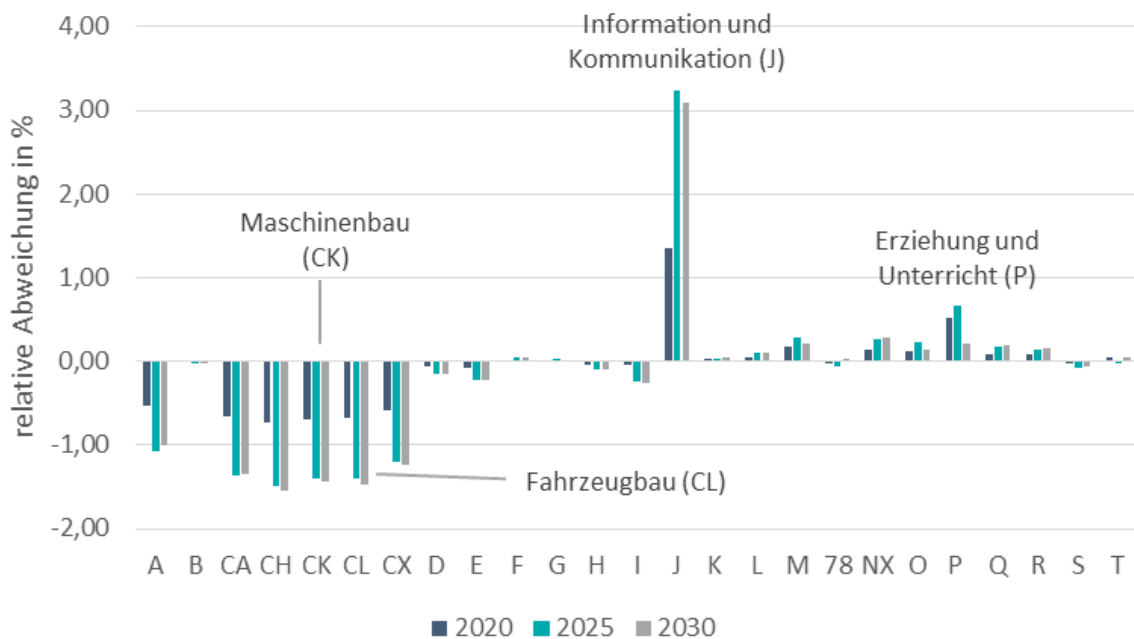


Quelle: eigene Darstellung.

Von Rückgängen sind insbesondere die Berufshauptfelder „Rohstoff gewinnende Berufe (BHF 1)“, „Hilfskräfte/Hausmeister(BHF 2)“, „Metall-, Anlagenbau, Blechkonstruktion, Installation, Montierer, Elektroberufe (BHF 3)“, „Sonstige be-, verarbeitende und instandsetzende Berufe (BHF 5)“ sowie „Maschinen und Anlagen steuernde und wartende Berufe (BHF 6) und „Technische Berufe (BHF 15)“ betroffen. Dies ergibt sich direkt aus der veränderten Kostenstruktur: Die vorleistungsliefernden Branchen müssen für den gleichen Output der nachgeordneten Branche weniger liefern. Sie selbst brauchen weniger Rohstoffe. Gleichzeitig nimmt die Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft und im Verarbeitenden Gewerbe zu, was zu weiteren Bedarfsrückgängen führt. Die Importe sinken und die Bestellungen nachgeordneter Branchen ebenso. Es ist folglich weniger zu tun. Auch negativ betroffen sind die „Verkehrs-, Lager- und Transportberufe (BHF 9)“. Mit der geringeren Verwendung von Material nehmen auch die zu transportierenden Mengen ab. Der Rückgang der Gastronomieberufe (BHF 8) ist dagegen indirekt bedingt: Weniger Personen müssen in Kantinen oder durch Caterer versorgt werden. Außerdem gehören Köche zu den Gastronomieberufen; Köche werden aber auch im Nahrungsmittelgewerbe eingesetzt. Auch dort wird eine steigende Arbeitsproduktivität unterstellt.

Noch deutlicher wird der Umschwung ausgelöst durch die Annahmen **7-11**: Das Verarbeitende Gewerbe (CA bis CX) und die Landwirtschaft (A) verlieren Arbeitsplätze (Abbildung 15). Die Branchen Information und Kommunikation (J) können deutlich an Erwerbstätigen zulegen. Weitere positive, wenn auch relativ kleine Wirkungen sind in den übrigen Dienstleistungsbranchen (M bis P) festzustellen. Die sonstigen Dienstleistungen (NX) ohne die Arbeitnehmerüberlassung 78 können ebenfalls zulegen. Herauszuheben ist Branche Erziehung und Unterricht (P), die vor allem in den ersten Jahren deutliche Zuwächse verzeichnen kann.

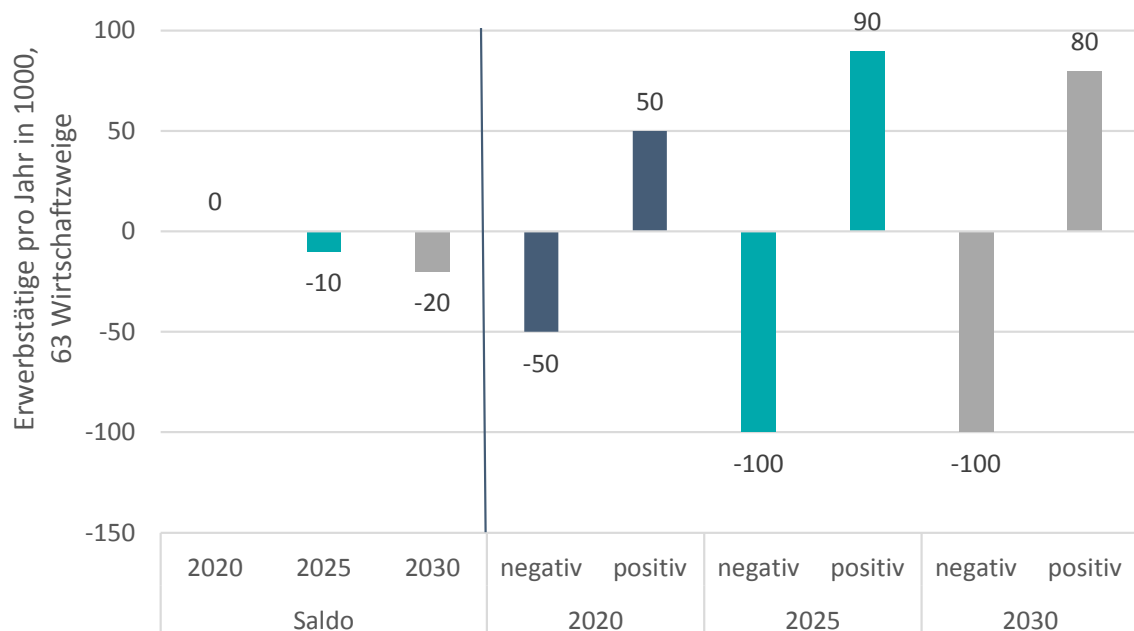
Abbildung 15
Teil-Szenario 3 – Zahl der Erwerbstätigen nach Branchen im Vergleich zum Teil-Szenario 2



Quelle: eigene Darstellung.

Welche Folgen ergeben sich für die Erwerbstätigen? Müssen sie die Branchen wechseln? Oder den Beruf oder beides? Dazu werden die Veränderungen nach Wirtschaftszweigen und Berufsfeldern betrachtet. Es werden die Nettoveränderungen (Summe über alle) den jeweiligen positiven und negativen Bruttoveränderungen (Summe aller negativen und aller positiven Veränderungen) gegenübergestellt.

Abbildung 16
Teil-Szenario 3 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Branchen im Vergleich zum Teil-Szenario 2

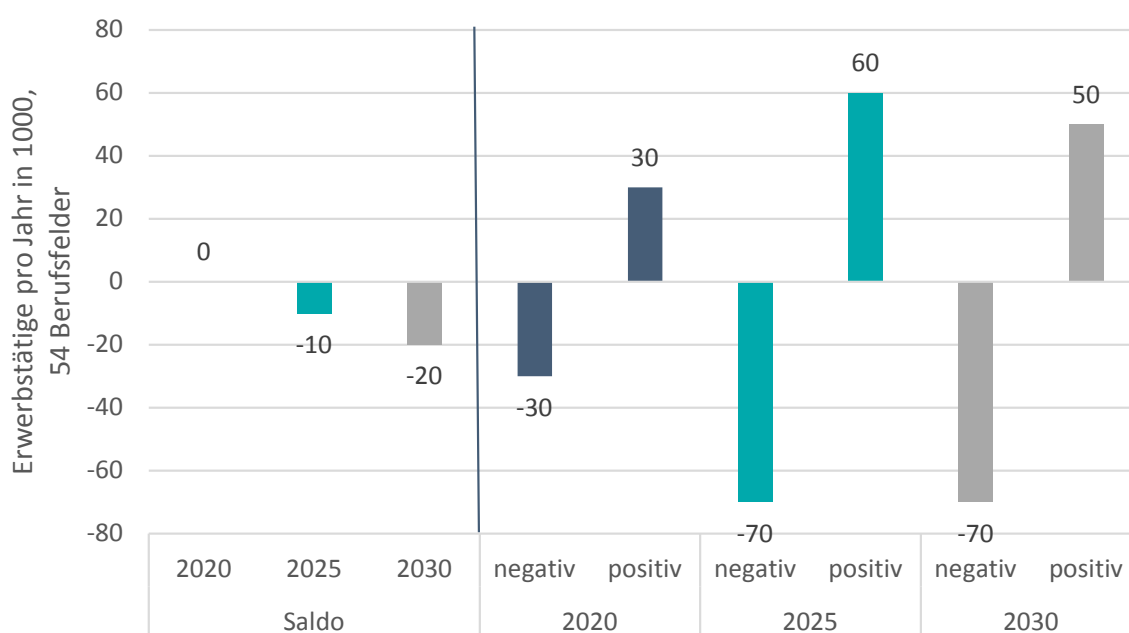


Quelle: eigene Darstellung.

Abbildung 16 zeigt, dass im Jahr 2020 im Vergleich zum Teil-Szenario 2 gesamtwirtschaftlich keine Arbeitsplätze verloren gehen. Die Zahl der Erwerbstätigen bleibt unverändert. Gleichwohl ergeben sich Folgen für die Arbeitslandschaft: In den Branchen mit einem Rückgang der Erwerbstätigenzahlen gehen rund 50.000 Arbeitsplätze verloren. Andere Branchen können insgesamt 50.000 Erwerbstätige zusätzlich einstellen. Es sind somit 100.000 Arbeitsplätze betroffen. In 2030 sind alle Strukturveränderungen wirksam; es gibt dann circa 20.000 Arbeitsplätze weniger als im Teil-Szenario 2. Die Veränderung der Arbeitslandschaft ist allerdings weitaus größer: Die negativ betroffenen Branchen bauen 100.000 „alte“ Arbeitsplätze ab, die profitierenden Branchen können höchstens 80.000 „neue“ Arbeitsplätze anbieten.

Aus der Veränderung der Branchen, die durch die Einbeziehung von geänderten Material- und Personalaufwendungen ausgelöst werden, ergeben sich nicht nur Auswirkungen auf die Arbeitslandschaft bezogen auf Branchen sondern auch im Hinblick auf Berufsfelder: Branchen unterscheiden sich nach den Berufen, die notwendig sind, um zu produzieren. Eine Veränderung der Branchenzusammensetzung zieht also auch eine neue Zusammensetzung der Erwerbstätigen nach Berufsfeldern nach sich.

Abbildung 17
Teil-Szenario 3 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufen im Vergleich zum Teil-Szenario 2



Quelle: eigene Darstellung.

Abbildung 17 zeigt für die Erwerbstätigen insgesamt (Saldo) wieder die gleichen Veränderungen wie die Abbildung 16, allerdings sind die Gewinne und Verluste deutlich geringer: So gehen bezogen auf Berufsfeldern 70.000 Arbeitsplätze in den Jahren 2025 und 2030 verloren – bezogen auf Branchen waren es 100 000 (siehe Abbildung 16). Im Ergebnis wechseln die Arbeitsplätze stärker zwischen den Branchen als zwischen den Berufen. Dies liegt auch daran, dass bislang keine veränder-

te Berufsstruktur innerhalb einer Branche aufgrund einer Einführung von Industrie 4.0 modelliert wurde. Dies wird im vierten Teil-Szenario berücksichtigt.

4.4 Berufsfeldstruktur (Teil-Szenario 4)

Zum Wirtschaftsstruktureffekt, der sich durch die Einbeziehung von Material- und Personalaufwendung ergibt, kommt der Berufsfeldstruktureffekt hinzu. Im vierten Teil-Szenario geht es deshalb um die Veränderungen der Berufsfeldstruktur innerhalb der Branchen. Grundlegend für das Folgende ist die Annahme, dass sich nicht nur die Branche, sondern auch die Zusammensetzung der zum Einsatz kommenden Berufe im Zuge der Umsetzung der Industrie 4.0 verändern. Um die sich ergebenden Dynamik beurteilen zu können, wird die Veränderung der Berufsfelder in der Vergangenheit 1996 bis 2011 dargestellt (Abbildung 18).

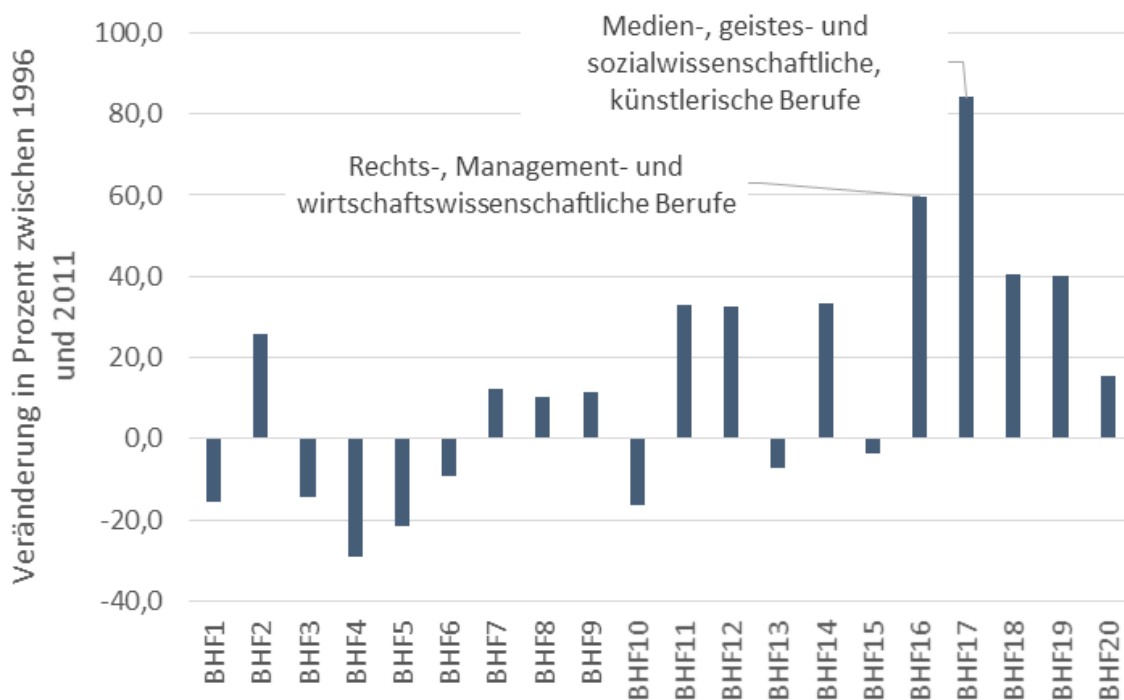
In der Vergangenheit haben sich in 15 Jahren deutliche Veränderungen ergeben. Die Zahl der Erwerbstätigen ist in den Jahren 1996 bis 2011 um +10 % gestiegen. Gleichzeitig hat ein erheblicher Strukturwandel stattgefunden. Berufe, die häufig im Produzierenden Gewerbe angesiedelt sind, haben Verluste hinnehmen müssen:

- (1) BHF 3 Metall-, Anlagenbau, Blechkonstruktion, Installation, Montierer, Elektroberufe
- (2) BHF 4 Bauberufe, Holz-, Kunststoffbe- und -verarbeitung
- (3) BHF 5 Sonstige be-, verarbeitende und instandsetzende Berufe
- (4) BHF 6 Maschinen und Anlagen steuernde und wartende Berufe

Gegen diese Trend konnte das BHF14 „IT- und Naturwissenschaftliche Berufe“ Zuwächse verzeichnen. Auch viele Berufe, die Dienstleistungen (auch Gesundheitsleistungen) zugeordnet werden können, konnten zulegen:

- (1) BHF 11 Gastronomieberufe
- (2) BHF 12 Reinigungs- und Entsorgungsberufe
- (3) BHF 16 Rechts-, Management- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe
- (4) BHF 17 Medien-, geistes- und sozialwissenschaftliche, künstlerische Berufe
- (5) BHF 18 Gesundheitsberufe
- (6) BHF 19 Sozialberufe
- (7) BHF 20 Lehrende Berufe

Abbildung 18
Veränderung der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern zwischen 1996 und 2011



Quelle: eigene Darstellung.

Welche Auswirkungen der Umbau zur Industrie 4.0 auf die Zusammensetzung der Berufsfelder in einer Branche haben wird, ist nicht bekannt. Unter der Annahme, dass in Folge der Transformation zu einer Industrie 4.0 vor allem Tätigkeiten mit einem hohen Routine-Anteil abgebaut werden und Tätigkeiten mit einem geringen Routine-Anteil zunehmen (Autor et al. 2013; Bonin et al. 2015; Bowles 2014; Brzeski/Burk 2015; Frey/Osborne 2013), kann man die möglichen Auswirkungen von Industrie 4.0 für die Beschäftigung in den Branchen abschätzen. Dazu werden die von Dengler und Matthes (2015) ermittelten Anteile an Routine-Tätigkeiten in den BIBB-Berufsfeldern auf der Grundlage der Berufsdaten aus der Expertendatenbank BERUFENET der Bundesagentur für Arbeit verwendet.⁸ Als Routine-Tätigkeiten werden hierbei Tätigkeiten beschrieben, die „nach programmierbaren Regeln ausgeführt werden können, während Nicht-Routine-[Tätigkeiten] lediglich durch Computer unterstützt werden können“ (ebd.).⁹

(Annahme 12) Ein Berufsfeld profitiert umso stärker von der Transformation zu einer Industrie 4.0, je höher der Anteil der Nicht-Routine-Tätigkeiten des Berufsfelds relativ zum Branchendurchschnitt ist.

⁸ Zu den BIBB-Berufsfeldern vergleiche Tiemann 2008. Auf der Basis der gemeinsamen Erwerbstätigenbefragung des Bundesinstituts für Berufsbildung und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin lassen sich ähnliche Routineanteile für die 54 Berufsfelder bestimmen.

⁹ Wir möchten uns an dieser Stelle bei Dengler und Matthes für die Berechnung der Routine-Anteile nach Berufsfeldern bedanken.

Liegt der Branchendurchschnitt der Nicht-Routine-Tätigkeiten in einem Berufsfeld beispielsweise bei 40 Prozent und in einem Berufsfeld innerhalb derselben Branche bei 80 Prozent, so sollte sich die Anzahl der Erwerbstätigen im Rahmen der Transformation zu einer Industrie 4.0 in dem Berufsfeld, das einen höheren Routine-Anteil hat, stärker verringern. Da es aber auch viele Gründe gibt, die gegen eine vollständige Anpassung gemäß den Routine-Anteilen sprechen, wird ferner angenommen, dass nur die Hälfte der Routine-Tätigkeiten durch den technologischen Fortschritt maximal eingespart werden kann. Wie viel Routine-Anteile tatsächlich eingespart werden, kann allerdings im Voraus nicht bestimmt werden, weil sich über die getroffene Annahme hinaus modellendogen – beispielsweise aufgrund von unterschiedlichen Lohnentwicklungen – noch weitere Veränderungen der Berufsfeldstruktur ergeben (Maier et al. 2014b).

Die sich im Zuge des Umbaus zur Industrie 4.0 ergebenden Veränderungen der Berufsfeldstruktur hat Folgen: Mit der Verteilung hin zu komplexeren Tätigkeiten wird auch der Anteil der Berufe mit einer höheren Entlohnung größer. Im Durchschnitt der Branche steigen also die Lohnkosten.

(Annahme 13) Die Arbeitsproduktivität steigt aufgrund der Neuorganisation der Berufsfelder um 0,9 Prozent, so dass die Lohnkosten und der Gewinn unverändert bleiben.

Wie bei der Abschätzung der Material- und Personalaufwendungen, wird wieder unterstellt, dass die Unternehmen keine Veränderungen vornehmen werden, die ihren Gewinn schmälern. Daher wird im Rahmen der Annahme 13 unterstellt, dass die Arbeitsproduktivität bis 2025 um weitere 0,9 Prozent zunimmt. Die 0,9 Prozent entsprechen dem Anstieg der Lohnkosten in den ausgewählten Branchen bei einer ausschließlichen Neuorganisation der Berufsfelder.

Anders ausgedrückt: Die Berufsfelder, die deutlich über dem in ihrer Branche durchschnittlichen Routine-Anteil liegen, verlieren, Berufsfelder mit einem relativ geringen Routine-Anteil verglichen mit dem Branchendurchschnitt werden gewinnen. Insgesamt wird allerdings die Erwerbstätigkeit in den Branchen, in denen investiert wurde, wegen der angenommenen Steigerung der Arbeitsproduktivität in gleichem Maße zurückgehen.

Tabelle 3 zeigt ein fiktives Beispiel einer Branche mit vier Berufsfeldern, an der die Vorgehensweise erläutert wird.

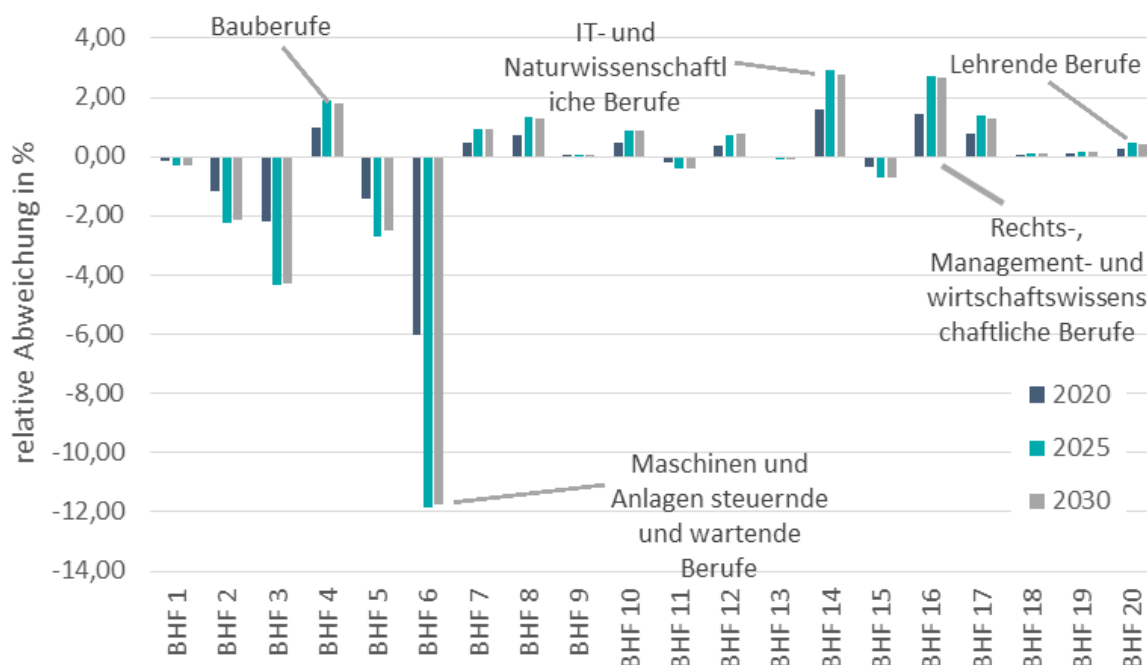
Tabelle 3
Einbeziehung des Routine-Anteils, Beispielrechnung

		Berufsfelder				Summe	Durchschnitt
		1	2	3	4		
Erwerbstätige in 2015	in Personen	1.000	1.000	3.000	5.000	10.000	
.. Anteile in %	in % von Allen	10	10	30	50	100	
Routineanteil der Tätigkeit	Anteil in %	10	70	80	90		77
Halbierung des Routineanteils	Anteil in %	5	35	40	45		
Anteil der Komplexen Tätigkeiten bei halbiertem Routineanteil	Anteil in %	95	65	60	55		61,5
Bonus/Malus: Verhältnis zum Branchendurchschnitt, Skalierungsfaktor	Faktor	1,54	1,06	0,98	0,89		
Erwerbstätige nach Berücksichtigung Des Bonus/Malus Faktors in 2025	in Personen	1.545	1.057	2.927	4.472	10.000	
Berücksichtigung der Arbeitsproduktivitätssteigerung von 1,2 %	in Personen	1.526	1.044	2.892	4.418	9.880	

Quelle: eigene Darstellung.

Um die Folgen für die Berufsfelder aufzudecken, werden diese mit dem vorangehenden Szenario verglichen. Abbildung 19 zeigt die Veränderungen der Berufshauptfelder die ausschließlich auf die Annahmen 12 und 13 zurückgehen.

Abbildung 19
Teil-Szenario 4 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 3



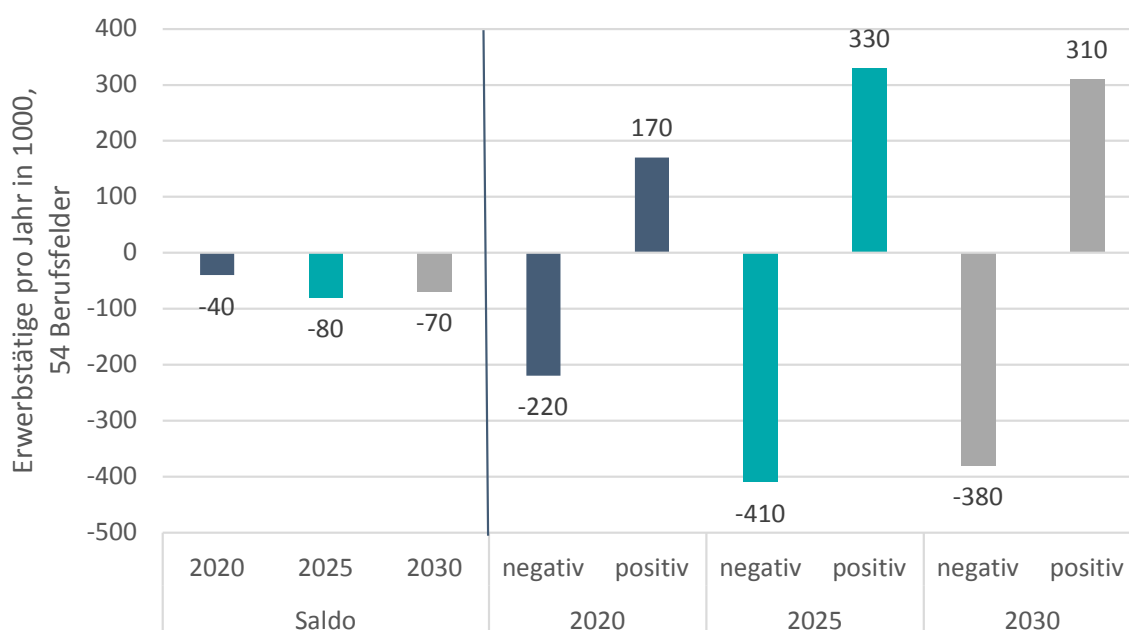
Quelle: eigene Darstellung.

Deutlich ist zu erkennen, dass vor allem die Maschinen und Anlagen steuernden und wartenden Berufe (BHF 6) zurückgehen; sie verlieren bis zu 12 Prozent im Zuge der Transformation. Verglichen mit den bisherigen Bewegungen der Berufsfelder im Zeitverlauf (Abbildung 18) ist das allerdings immer noch nur eine vergleichsweise

geringe Veränderung, wobei zu beachten ist, dass in Abbildung 19 nur Szenario-Wirkungen über die Grundentwicklung des Referenz-Szenarios hinaus dargestellt sind. Am meisten profitieren die IT- und Naturwissenschaftlichen Berufe (BHF 14). Aber auch die Bauberufe (BHF 4), für die nach Dengler und Matthes (2015) nur geringe Routine-Anteile ausgewiesen werden.

Zum Schluss wird wieder ein Blick auf die Bruttoströme innerhalb der Berufsfelder geworfen. Waren die Ausschläge bei den Berufshauptfeldern im Teil-Szenario 3 noch geringer als bei den Branchen, zeigt das Teil-Szenario 4 deutlich größere Ausschläge (Abbildung 20).

Abbildung 20
Teil-Szenario 4 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufen im Vergleich zum Teil-Szenario 3



Quelle: eigene Darstellung.

In den Jahren 2025 und 2030 werden durch die getroffene Annahme gut 700.000 Beschäftigungsverhältnisse berührt sein. Der Saldo für diese Jahre zeigt einen Verlust von 70.000 bis 80.000 der Anzahl der Erwerbstätigen. Dieser Rückgang ist auf die gesamtwirtschaftlichen Folgen der Neuverteilung der Berufe und die erneut steigende Arbeitsproduktivität zurückzuführen.

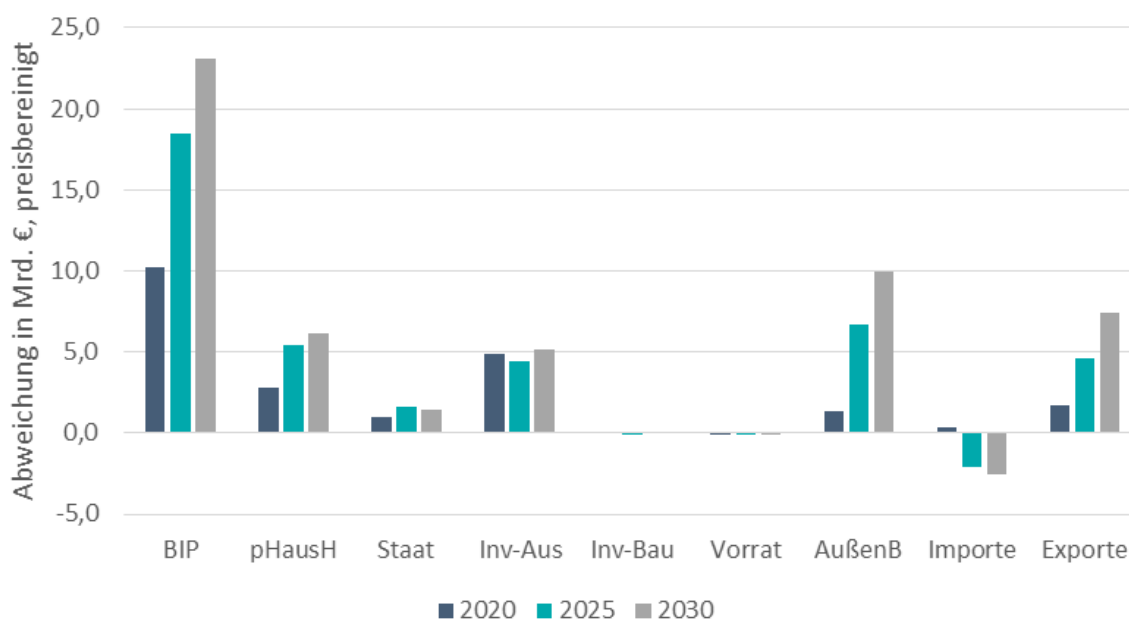
4.5 Gesamtwirkung ohne zusätzliche Nachfragen (Teil-Szenarien 1-4)

Bisher sind die Szenarien Schritt für Schritt miteinander verglichen worden, um die isolierten Wirkungen identifizieren zu können. Im Folgenden werden die Eingriffe der ersten vier Teil-Szenarien mit dem Referenzlauf verglichen (Abbildung 4). Der Unterschied zwischen dem QuBe-Referenz-Szenario und des Gesamt-Szenario ohne Nachfrageänderungen geht also auf alle bisherigen Eingriffe (Annahmen 1-13) zurück. Die Folgen für das Bruttoinlandsprodukt und seine Komponenten sind in

Abbildung 21 dargestellt. Das Bruttoinlandsprodukt wird anfangs schwächer zulegen, in den letzten fünf Jahren aber stärker. Selbst ohne weitere Eingriffe im Bereich Konsum und Export wird es wegen Kreislaufwirkungen (Einkommenskreislauf) und wegen einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit (niedrigere Herstellungspreise) zu einer Zunahme des Exports und des Konsums kommen. Wichtig für das Ergebnis ist auch die zurückgehende Importnachfrage, die durch einen geringeren Bedarf importierter Vorleistungen an Roh-, Halb- und Fertigprodukten in der Landwirtschaft und dem Verarbeitenden Gewerbe ausgelöst wird. Das Bruttoinlandsprodukt wird in den Jahren 2025 bis 2030 in jedem Jahr um circa 20 Mrd. € über dem im Referenz-Szenario liegen. In den sechs Jahren wird also eine zusätzliche Wertschöpfung preisbereinigt von mehr als 120 Mrd. € geschaffen. Die durchschnittliche Wachstumsrate über den gesamten Zeitraum (Wachstumspfad) steigt um 0,05 Prozent. Insgesamt ist die Wirkung auf das Bruttoinlandsprodukt etwas geringer, als wenn nur die Material- und Personalaufwendungen (Teil-Szenario 3) betrachtet werden. Ursache dafür sind die Finanzierungen der Investitionen (Teil-Szenarien 1&2), die nach 2025 für negative Wachstumsimpulse sorgen. Ferner sorgt die Umverteilung der Berufsfelder in den Branchen mit einer stärkeren Nachfrage nach Hochqualifizierten für leicht steigende durchschnittliche Stundenlöhne.

Abbildung 21

Gesamt-Szenario 1-4 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Referenz-Szenario

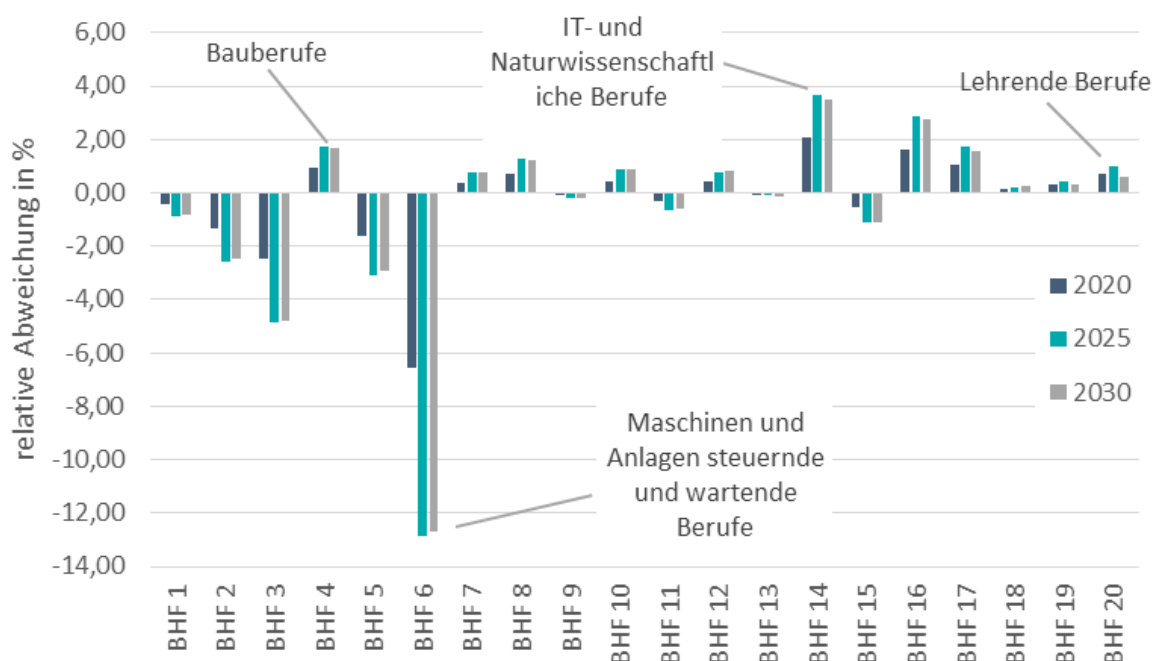


Quelle: eigene Darstellung.

Bezogen auf die Struktur der Berufe wirken im Verarbeitenden Gewerbe gegensätzliche Einflüsse (Abbildung 22): Die Erhöhung der Ausrüstungsinvestitionen führt zumindest bis 2024 zu positiven Beschäftigungswirkungen insgesamt. Dem entgegen wirken die Folgen der Kostenstrukturveränderungen und der steigenden Arbeitsproduktivität.

Abbildung 22

Gesamt-Szenario 1-4 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Der Blick auf die Struktur der Berufshauptfelder zeigt, dass vor allem produzierende Berufe abnehmen und dienstleistungsorientierte Berufe zunehmen. Herauszustellen sind die Bauberufe, die positiv betroffen sind. Die anfänglich hohen Bauinvestitionen führen zu dem positiven Ergebnis. Da keine privaten Investitionen in die Baubranche erfolgen und hierdurch keine Produktivitätsgewinne entstehen, zeigt sich langfristig keine zurückgehende Erwerbstätigenzahl im Vergleich zum Referenz-Szenario. Außerdem führen in den Branchen, die direkt von der Industrie-4.0-Modellierung angesprochen werden, die geringen Routine-Anteile in den Bauberufen verglichen mit anderen Berufsfeldern zu geringen Steigerungen. Die „Maschinen und Anlagen steuernden und wartenden Berufe“ (BHF 6) nehmen relativ am deutlichsten ab. „IT- und Naturwissenschaftliche Berufe“ (BHF 14) können wegen der höheren Ausrüstungsinvestitionen und wegen des steigenden Digitalisierungsgrads der Landwirtschaft und des Verarbeitenden Gewerbes relativ am stärksten zulegen. Die „Lehrenden Berufe“ (BHF 20) profitieren von der vermehrten Steigerung der Weiterbildungsausgaben der Unternehmen.

Abbildung 23

Gesamt-Szenario 1-4 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario

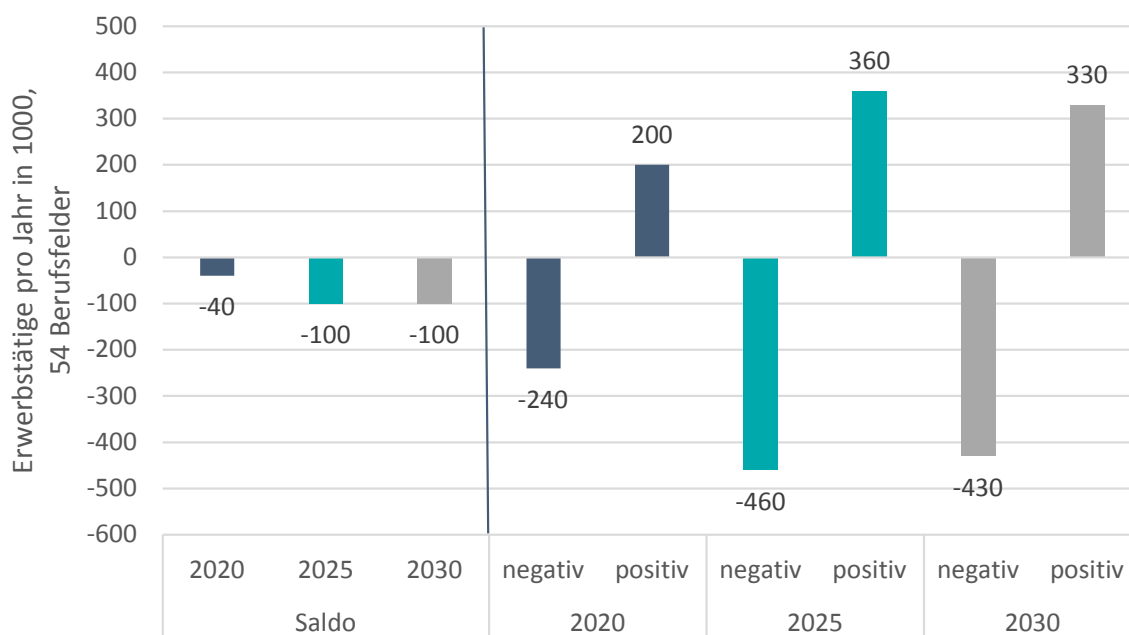


Quelle: eigene Darstellung.

2020 gibt es 40.000 Arbeitsplätze weniger (Abbildung 23). Zudem verlieren die negativ betroffenen Berufsfelder circa 240.000 Arbeitsplätze, dafür werden in anderen Berufsfeldern 200.000 Arbeitsplätze aufgebaut: Es finden also an 440.000 Arbeitsplätzen Veränderungen statt. Einige gehen verloren, andere werden geschaffen. Für die Jahre 2025 und 2030 sind dann 820.000 bzw. 760.000 Arbeitsplätze von den Veränderungen berührt. Es gehen insgesamt 100.000 Arbeitsplätze verloren.

Eine Betrachtung nach Branchen zeigt nun einen kleineren Umschlag zwischen den Arbeitsplätzen (Abbildung 24). Zwar sind in den Jahren 2025 und 2030 wieder 100.000 Personen weniger beschäftigt. Es werden aber 200.000 bzw. 190.000 Arbeitsplätze aufgelöst und 100.000 bzw. 90.000 an anderer Stelle geschaffen. Von den bisherigen Szenario-Einstellungen werden also um die 300.000 Arbeitsplätze zwischen den Branchen umgeschichtet.

Abbildung 24
Gesamt-Szenario 1-4 – Anzahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Branchen im Vergleich zum Referenz-Szenario

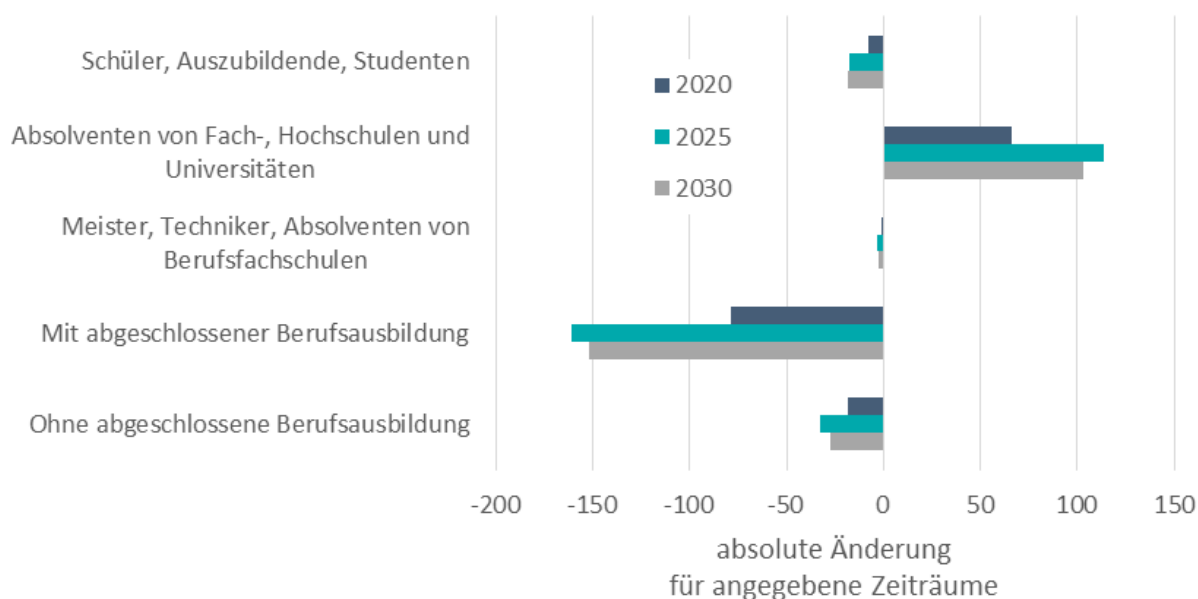


Quelle: eigene Darstellung.

Zum Schluss ein Blick auf die formalen Qualifikationen (Abbildung 25). Jedes Berufsfeld weist eine unterschiedliche Qualifikationsstruktur auf, die ebenfalls für die Zukunft projiziert wird (Maier et al. 2014b). Aufgrund der sich neu ergebenden Berufsfeldstruktur ändert sich die Qualifikationsstruktur der Gesamtwirtschaft. So nimmt die Nachfrage nach Personen zu, die eine Universität oder (Fach-)Hochschule absolviert haben, da kognitive Berufe mit geringen Routine-Anteilen stärker nachgefragt werden. Personen mit einer abgeschlossenen Berufsausbildung werden aufgrund der relativ höheren Routinehaftigkeit ihrer Arbeit weniger nachgefragt. Es werden sowohl in 2025 als auch 2030 rund 150.000 Personen weniger mit dieser Qualifikation benötigt.

Abbildung 25

Gesamt-Szenario 1-4 – Zahl an Erwerbstätigen nach Qualifikationsstufen im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Ergebnisse Teil 1:

- (1) Industrie 4.0 beschleunigt den Strukturwandel hin zu Dienstleistungen. Mindestens 11 Prozent der Arbeitsplätze der ausgewählten Branchen werden sich zusätzlich verändern.
- (2) Zwar nimmt die Wertschöpfung wegen steigender Wettbewerbsfähigkeit und reduzierten Importen zu, dennoch werden im gesamten Zeitverlauf rund 100.000 Personen weniger erwerbstätig sein als im Referenzszenario.
- (3) IT-Berufe und Lehrende Berufe profitieren aufgrund der Investitionen dauerhaft.
- (4) Die Nachfrage nach höher Qualifizierten nimmt zu Lasten von Personen mit Berufsabschluss und Routine-Tätigkeiten zu.
- (5) Die Wirkungen auf die Anzahl der Arbeitsplätze insgesamt sind verglichen mit „üblichen“ Veränderungen der Erwerbstätigenzahlen im Konjunkturverlauf moderat.
- (6) Gleichwohl werden bis zum Jahr 2030 760.000 Arbeitsplätze zwischen den Berufsfeldern umgeschichtet.

4.6 Nachfrage (Teil-Szenario 5)

Im Folgenden werden die Konsumnachfrage der privaten Haushalte und die Exportnachfrage in das Szenario einbezogen. Die Entwicklung zusätzlicher Nachfragen der privaten Haushalte kann sich wegen der neuen Möglichkeiten der Industrie 4.0 ergeben.

(Annahme 14) Deutschland hat bei der Umstellung auf Industrie 4.0 weltweit eine Vorreiterrolle inne und das Ausland reagiert mit einer Verzögerung von fünf Jahren. Die ausländische Nachfrage nach Maschinen und nach Messtechnik setzt also fünf Jahre später (also 2020) ein als in Deutschland und hält dann ebenfalls für zehn Jahre an. Für eine plausible Erhöhung der Exportnachfragen wird davon ausgegangen, dass die Investitionssteigerung dieses Szenarios (circa 3,2 Mrd. €) ins Verhältnis zur heimischen Produktion gesetzt wird: Im Jahr 2012 betrug der Produktionswert des Maschinenbaus und der elektronischen Erzeugnisse zusammen circa 340 Mrd. €. Da sich die zusätzliche Nachfrage nach Investitionen insbesondere an diese beiden Branchen richtet, steigert das die Produktion um etwa 1 Prozent. Es wird angenommen, dass weltweit die Nachfrage ähnlich steigt und dementsprechend auch die deutschen Exporte ansteigen.

(Annahme 15) Die privaten Haushalte haben Interesse an den neuen Konsummöglichkeiten, die sich nach der Umstellung auf Industrie 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. Daher wird angenommen, dass nur bei ausgewählten Konsumverwendungszwecken die Nachfrage bis 2025 um 2 Prozent steigt. Die Auswahl der betroffenen Verwendungszwecke folgt den Produkten, die die Wirtschaftszweige herstellen, die im Verarbeitenden Gewerbe arbeiten, die also im Rahmen der Szenario-Analyse ihre Produktionsweise umgestellt haben und so individuelle zugeschnittene Produkte auch herstellen können. Eine Ausnahme stellen Nahrungsmittel und Getränke dar, da wir nicht von einem zusätzlichen Nahrungsmittelkonsum ausgehen. Ferner wird konsequent zu der Annahme bei den Exporten (Vorreiterrolle) auch angenommen, dass die neuen Güter auch nur im Inland bezogen werden können, also ein Import nicht möglich ist. Für Güter mit hohem Importanteil wird daher unterstellt, dass erst ab dem Jahr 2020 die Nachfrage nach importierten Fertigprodukten steigen wird. Dies gilt für die Güter Bekleidung, Möbel und Autos. Die importierten Vorleistungen (Rohstoffe und Halbfertigwaren) wurden unverändert gelassen, da angenommen wird, dass diese keine Weiterentwicklung erfahren und erst im Inland weiterverarbeitet werden.

Bei den ausgewählten Verwendungszwecken (Tabelle 4) handelt es sich stets um Güter, die den Inlandskonsum der privaten Haushalte beschreiben. Nicht immer kann eine klare Trennung von Gütern und Leistungen erfolgen. So wird der Verwendungszweck „Waren und Dienstleistungen für den Betrieb von Privatfahrzeugen“ nicht ausgewählt, weil hier größtenteils Treibstoffe erfasst werden.

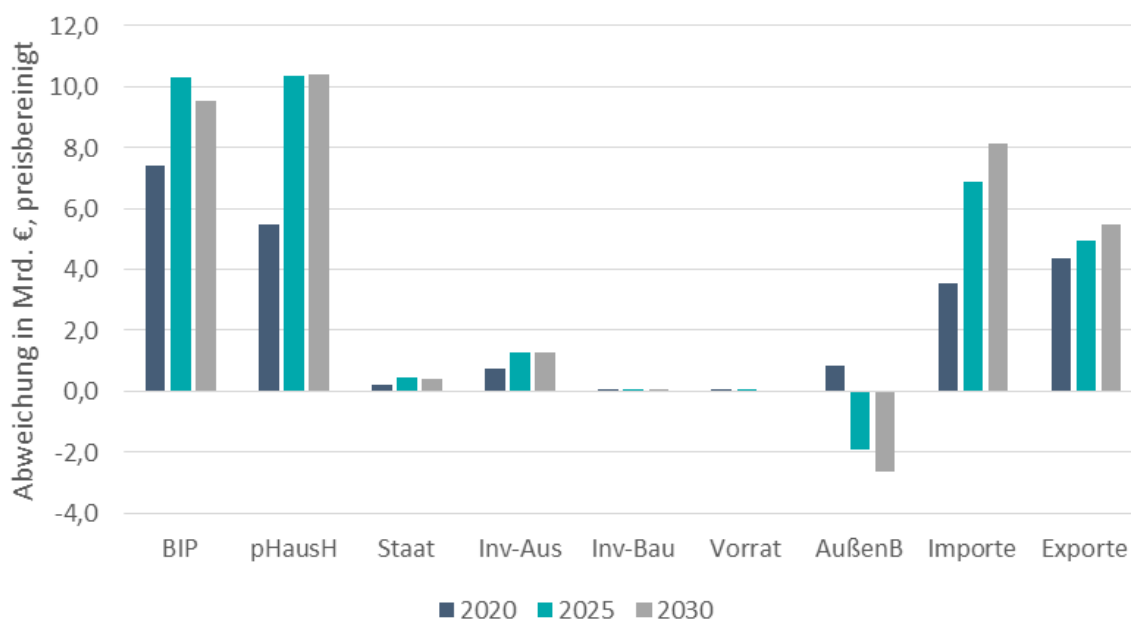
Tabelle 4
Auswahl der Verwendungszwecke (blau hinterlegt)

Verwendungszwecke
1 Nahrungsmittel
2 Alkoholfreie Getränke
3 Alkoholische Getränke
4 Tabakwaren
5 Bekleidung
6 Schuhe
7 Tatsächliche Mietzahlungen
8 Unterstellte Mietzahlungen
9 Regelmäßige Instandhaltung und Reparatur der Wohnungen
10 Wasserversorgung und andere Dienstleistungen im Zusammenhang mit der Wohnung
11 Strom, Gas und andere Brennstoffe
12 Möbel, Innenausstattung, Teppiche u. Ä.
13 Heimtextilien
14 Haushaltsgeräte
15 Glaswaren, Tafelgeschirr und andere Gebrauchsgüter für die Haushaltsführung
16 Werkzeuge und Geräte für Haus und Garten
17 Waren und Dienstleistungen für die Haushaltsführung
18 Medizinische Erzeug., Geräte und Ausrüstungen
19 Ambulante Gesundheitsdienstleistungen
20 Stationäre Gesundheitsleistungen
21 Kauf von Fahrzeugen
22 Waren und Dienstleistungen für den Betrieb von Privatfahrzeugen
23 Verkehrsdienstleistungen
24 Post- und Kurierdienstleistungen
25 Telefon- und Telefaxgeräte, einschließlich Reparaturen
26 Telefon- und Telefaxdienstleistungen, Internet
27 Audiovisuelle, fotografische und Informationsverarbeitungsgeräte und Zubehör, einschließlich Reparaturen
28 Andere größere langlebige Gebrauchsgüter für Freizeit und Kultur (einschließlich Reparaturen)
29 Andere Geräte und Artikel für Freizeit Zwecke (einschließlich Reparaturen), Gartenerzeugnisse und Verbrauchsgüter für die Gartenpflege, Haustiere
30 Freizeit und Kulturdienstleistungen
31 Zeitungen, Bücher und Schreibwaren
32 Pauschalreisen
33 Bildungswesen
34 Verpflegungsdienstleistungen
35 Beherbergungsdienstleistungen
36 Körperpflege
37 Persönliche Gebrauchsgegenstände
38 Dienstleistungen sozialer Einrichtungen
39 Versicherungsdienstleistungen
40 Finanzdienstleistungen
41 Andere Dienstleistungen, a. n. g.

Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung.

Werden die ausschließlichen Wirkungen der Nachfrageveränderungen auf die Komponenten des Bruttoinlandsproduktes dargestellt, ergibt sich Abbildung 26.

Abbildung 26
Teil-Szenario 5 – Veränderung des Bruttoinlandsproduktes und seiner Komponenten im Vergleich zum Teil-Szenario 4



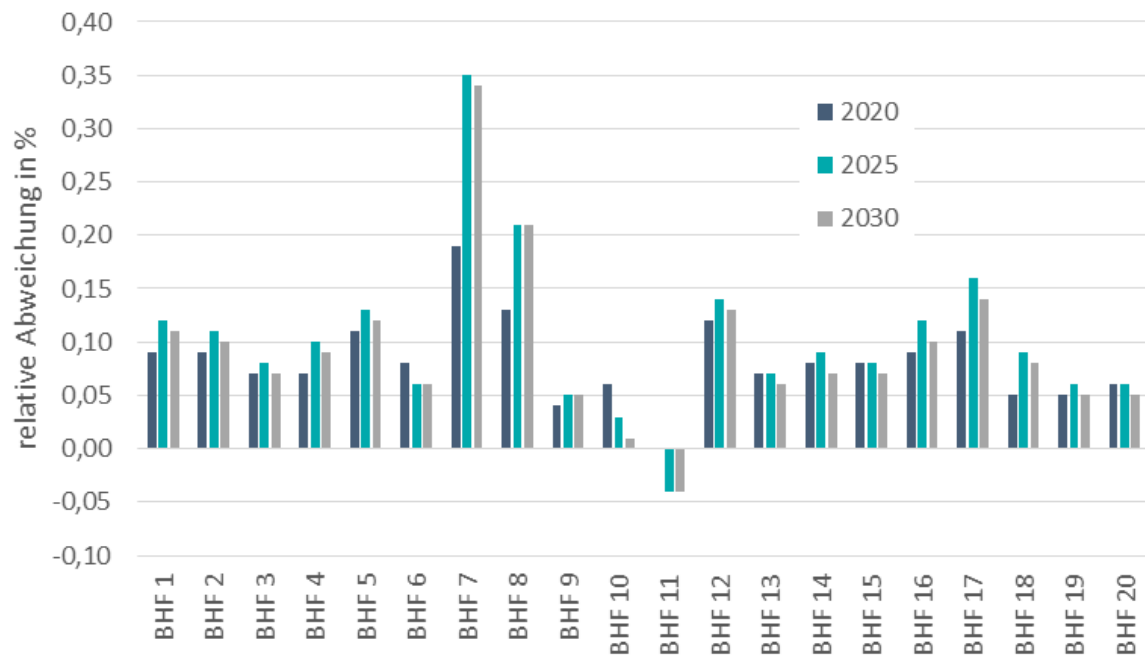
Quelle: eigene Darstellung.

Exporte und Konsum der privaten Haushalte sind nach 2020 höher als davor, da die Exporte erst später (2020) anziehen und die Konsumnachfrage kontinuierlich angehoben wird. Die Importe steigen deutlich, da z. B. viele audiovisuelle Endgeräte nicht in Deutschland hergestellt werden und dementsprechend importiert werden müssen. Ferner werden Dienstleistungsnachfragen der Privaten Haushalte, die eine starke Inlandswirkung (z. B. Mietzahlungen oder Körperpflege) haben, durch die Szenario-Annahmen nicht direkt berührt. Schließlich sind die zusätzlichen Exporte auch mit zusätzlichen Importen verbunden. Trotz des steigenden Exports ist daher der Außenhandelsbeitrag im Vergleich zu Teil-Szenario 3 insgesamt negativ.

Die Folgen des Teil-Szenarios 5 auf die Berufshauptfelder sind weitaus unspezifischer als die vorangehenden (Abbildung 27). Wegen des Konsums der privaten Haushalte steigen die Nachfragen nach „Berufen im Warenhandel – Verkaufsberufe (Einzelhandel) (BHF 7)“ am stärksten. Insgesamt sind Dienstleistungsberufe etwas mehr gefragt als Berufe des Verarbeitenden Gewerbes. Das Gastgewerbe verliert leicht. Es ist nicht Teil der ausgewählten Verwendungszwecke.

Zu beachten ist, dass in einer Wirtschaft 4.0 auch der Einzelhandel („Handel 4.0“) anders organisiert werden kann. In dem vorliegenden Szenario wird allerdings nur die Digitalisierung der Industrie betrachtet.

Abbildung 27
Teil-Szenario 5 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Teil-Szenario 4



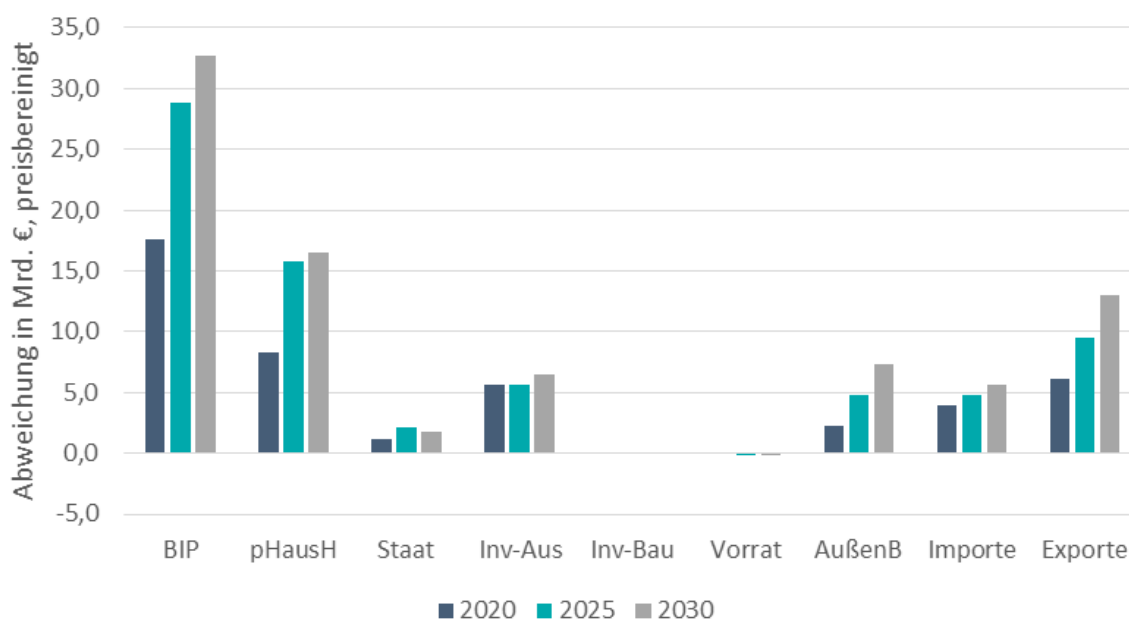
Quelle: eigene Darstellung.

4.7 Industrie-4.0-Szenario (Gesamt-Szenario 1-5)

Das Ergebnis des Industrie-4.0-Szenarios insgesamt setzt sich aus den fünf bereits diskutierten Teil-Szenarien zusammen. Es werden die Wirkungen sämtlicher Annahmen der Tabelle 1 (1-15) auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Arbeitsmarkt dargestellt.

Im Ergebnis entstehen positive Veränderungen: Konsum, Investitionen (vor allem Ausrüstungen) und Außenbeitrag sind positiv in beiden betrachteten Perioden (Abbildung 28). Allerdings geht der Vorteil sinkender Importe wegen der zusätzlichen Nachfrage (Teil-Szenario 5) verloren.

Abbildung 28
Gesamt-Szenario 1-5 – Komponenten des Bruttoinlandsproduktes im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Das Ergebnis entsteht erst durch die gemeinsame Betrachtung der Teil-Szenarien (Tabelle 5). So wirkt das Gesamt-Szenario positiv auf den Konsum der Privaten Haushalte, dieses wird durch steigende Bedarfe (Teil-Szenario 5) und Wirkungen aus dem Einkommenskreislauf (Teil-Szenario 1 & Teil-Szenario 3) ausgelöst werden. Der Konsum des Staates kann insgesamt ein positives Ergebnis in der zweiten Periode erzielen. In den Teil-Szenarien sind die Wirkungen nur sehr klein, erst in der Zusammenschau ergibt sich eine positive Wirkung.

Die Ausrüstungsinvestitionen werden entweder direkt angeschoben (Teil-Szenario 1) oder erhöhen sich auf Grund von Kreislaufzusammenhängen (Teil-Szenario 5). Insgesamt ist das Ergebnis positiv. Im Gegensatz dazu erzielen die Bauinvestitionen nur im Teil-Szenario 2 nennenswerte positive Werte (bis 2018). Die Vorratsveränderungen sind nicht Teil eines Szenarios und können auch durch indirekte Wirkungen keine positive Änderung erzielen.

Die Importe weiten sich insgesamt nennenswert aus. Allerdings zeigt das Teil-Szenario 4 deutlich Rückgänge wegen des geringeren Bedarfs an Roh- und Halbfertigprodukten. Dadurch kann es insgesamt gelingen, dass der Außenbeitrag positiv verändert wird, da bis auf das erste Teil-Szenario die Exporte durchwegs positive Ergebnisse aufweisen.

Tabelle 5

Gesamt-Szenario 1-5 Wirkungen auf die Komponenten des Bruttoinlandsprodukts in den Teil-Szenarien und insgesamt

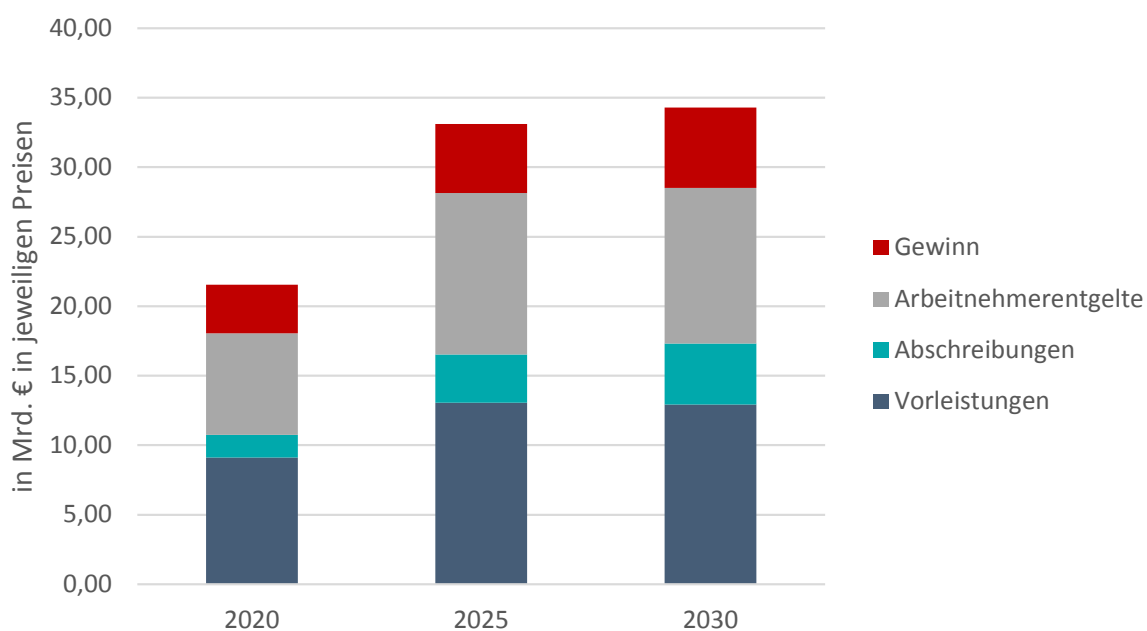
	Ausrüstung- investitionen		Bau- investitionen		Material- und Personalaufwand		Berufsfelder		Nachfrage		Industrie 4.0		
	Teil-Szenario 1		Teil-Szenario 2		Teil-Szenario 3		Teil-Szenario 4		Teil-Szenario 5		1 bis 5		
	2016-25	2026-30	2016-25	2026-30	2016-25	2026-30	2016-25	2026-30	2016-25	2026-30	2016-25	2026-30	
Bruttoinlandsprodukt	+	-	+	0	+	+	0	+	+	+	+	+	+
Konsum privater Haushalte	0	-	0	0	+	+	0	+	+	+	+	+	+
Konsum des Staates	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	+	+	+
Ausrüstungsinvestitionen	+	+	0	0	+	+	0	0	0	+	+	+	+
Bauinvestitionen	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0
Vorräte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Außenbeitrag	-	-	-	0	+	+	0	0	0	-	+	+	+
Importe	+	0	+	0	-	-	0	0	+	+	+	+	+
Exporte	0	-	0	0	+	+	0	0	+	+	+	+	+

"0" +/- eine Mrd.; "+" > 1 Mrd.; "-" < 1 Mrd.

Quelle: eigene Darstellung.

Abbildung 29 zeigt die Wirkung auf die Produktion. Die Produktion besteht definitionsgemäß aus den produzierten Vorleistungen und der erwirtschafteten Wertschöpfung. Diese wiederum kann zerlegt werden in Arbeitnehmerentgelte, Abschreibungen und Nettobetriebsüberschüsse (Gewinn). Die Produktion insgesamt steigt über die Jahre. 2020 kann sie ca. 22 Mrd. € zulegen – 2025 und 2030 sogar um mehr als 30 Mrd. €. Während anfangs die Nachfragen steigen und sich die Kostenstrukturen verändern, sind ab 2025 alle Wirkungen gleichzeitig und durchgehend aktiv.

Abbildung 29
Gesamt-Szenario 1-5 – Primärinputs und Vorleistungen im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

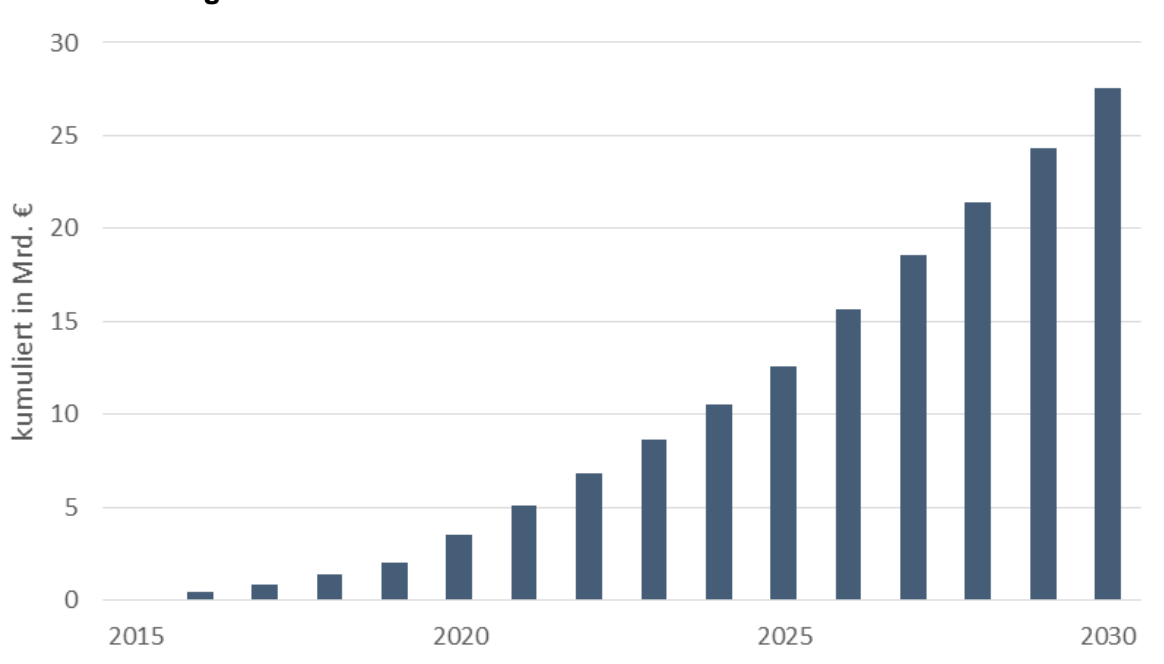
Aus dem Gewinn, den Arbeitnehmerentgelten und den Abschreibungen setzt sich die Wertschöpfung der Volkswirtschaft im Wesentlichen zusammen. Die Wertschöpfung beschreibt auch zum weitaus überwiegenden Teil das Bruttoinlandsprodukt. Bezüglich der Zusammensetzung der zusätzlichen Produktion ist festzustellen, dass die Vorleistungseinsätze zwar höher sind, aber nach 2025 nicht weiter zunehmen. Ursächlich dafür sind die Effizienzgewinne, die unter anderem zu einem effizienteren Einsatz von Roh-, Halb- und Fertigprodukten führen.

Ferner sind deutliche Steigerungen der Arbeitnehmerentgeltzahlungen festzustellen. Der Abbau von Routine-Tätigkeiten und die steigende Arbeitsproduktivität im Verarbeitenden Gewerbe begünstigt Berufsfelder mit einem höheren Qualifikationsniveau und höheren Löhnen. Die angenommene Steigerung der Arbeitsproduktivität führt bei einer produktivitätsorientierten Lohnpolitik der Unternehmen zu Lohnsteigerungen der Erwerbstätigen.

Letztlich werden die Abschreibungen im Zeitverlauf zunehmen: Selbst nachdem die letzten Investitionen getätigt worden sind, wird weiter abgeschrieben werden. Da

sich die Abschreibungen der Investitionsjahrgänge (Vintagen) kumulieren, werden die höchsten Abschreibungen nach der Spitze der Investitionen, also nach 2025 im zweiten Zeitraum, anfallen. 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.

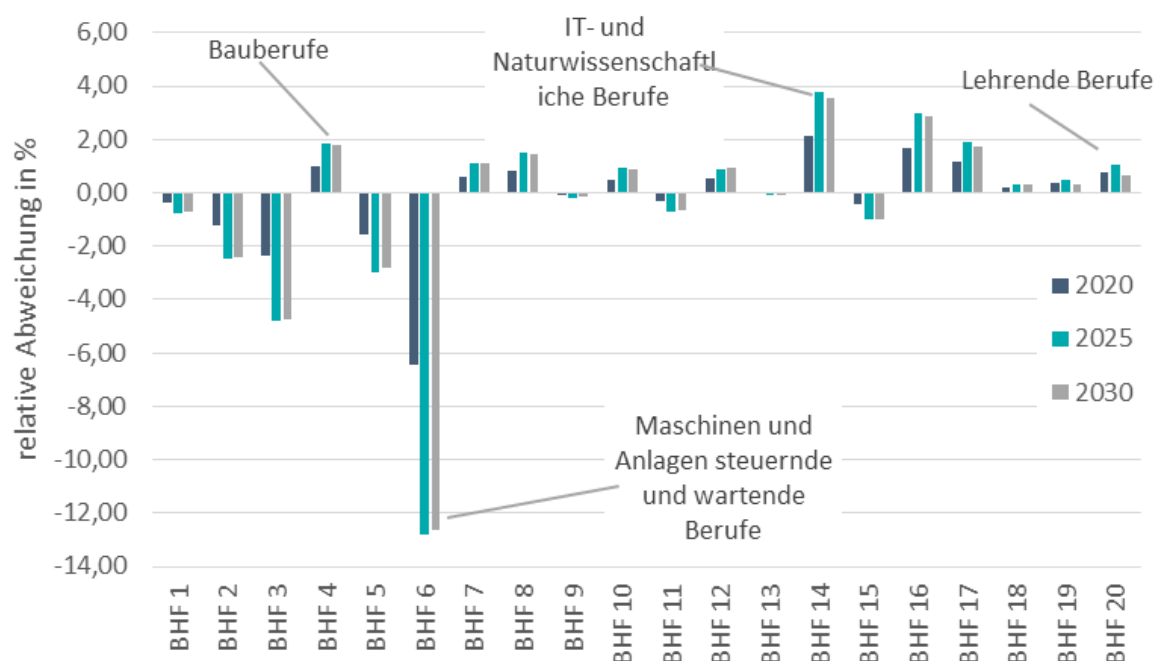
Abbildung 30
Entwicklung der kumulierten Gewinne der Landwirtschaft und des Verarbeitenden Gewerbes im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Die Gewinnentwicklung der Landwirtschaft und des Verarbeitenden Gewerbes wird gesondert betrachtet (Abbildung 30). Werden die Abweichungen vom Referenz-Szenario berechnet, sind über den Zeitraum 2016 bis 2025 durchgehend positive Gewinne festzustellen, werden diese kumuliert, dann wird bis 2025 ein kumulierter Gewinnunterschied von 12,5 Mrd. € erreicht. Das ist mehr als in der Kalkulation zum Teil-Szenario 3 vorab ermittelt wurde (8,3 Mrd. €, Tabelle 2). Die dort negativen Gewinne treten im Gesamt-Szenario nicht auf, da Nachfragesteigerungen beim Konsum und später bei den Exporten hinzukommen. In den Jahren nach 2025 können die Gewinne dann stärker gesteigert werden: Der Umbau hat stattgefunden und die Nachfrageimpulse bleiben bestehen.

Abbildung 31
Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der Erwerbstätigen nach Berufshauptfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario



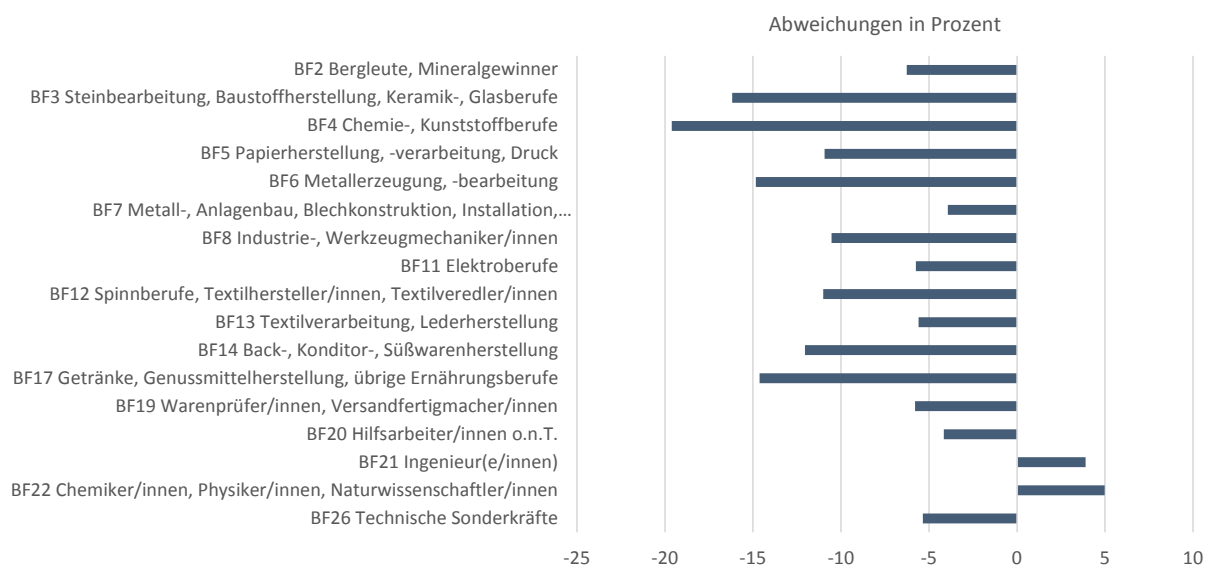
Quelle: eigene Darstellung.

Ein Blick auf die Berufshauptfelder zeigt, dass Berufe, die insbesondere im Verarbeitenden Gewerbe zu finden sind (insbesondere „Maschinen und Anlagen steuernde und wartende Berufe“), trotz Implementierung von zusätzlichen Nachfragen negativ betroffen sind (Abbildung 31). Die Folgen der veränderten Vorleistungslieferungen und die veränderte Berufsfeldstruktur können auch durch die gesteigerte Nachfrage des Teil-Szenarios 5 nicht kompensiert werden. Die durch das Szenario am stärksten profitierenden Berufe sind im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich (BHF 14), im Bereich der Unternehmensberatung (BHF 16), der unterrichtenden Berufe (BHF 20) und der Bauberufe (BHF 4) zu finden. Die positiven Wirkungen auf die Medien- und geisteswissenschaftlichen Berufe (BHF 17) hängen mit der Nachfrage nach Design zusammen und werden durch die allgemeine gesamtwirtschaftliche Entwicklung geprägt.

Im Folgenden wird die Ebene der 54 Berufsfelder betrachtet (Abbildung 32). Zur besseren Übersicht werden nur die Berufsfelder ausgewählt, die positiv oder negativ mehr als 3,5 Prozent vom Referenz-Szenario abweichen. Am stärksten sind die Abweichungen im negativen Bereich. Diese Berufsfelder können in der Regel dem Verarbeitenden Gewerbe zugeordnet werden. Besonders stark sind die Chemie- und Kunststoffberufe (BHF 4) betroffen. Das ist nicht verwunderlich, da sie sowohl von Umstrukturierung der Produktionsprozesse als auch von der Umstellung der Berufskonstellation stark berührt sind, da der Routine-Anteil nach Dengler und Matthes (2015) sehr hoch ist.

Abbildung 32

Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der Erwerbstätigen nach ausgewählten*) Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario in 2030

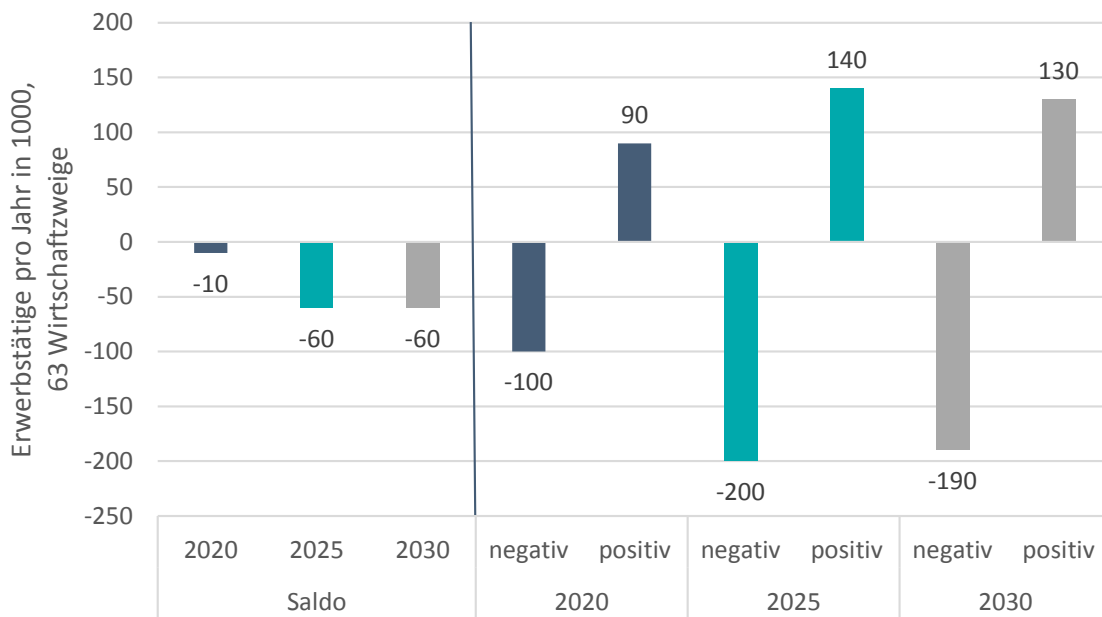


*) Auswahlkriterium: Betragmäßige Abweichung > 3,5 Prozent.

Quelle: eigene Darstellung.

Der Umschwung zwischen den Arbeitsplätzen nach Branchen hat sich im Gesamt-Szenario mit den Nachfrageänderungen weiter erhöht (Abbildung 33). Die Branchen mit zurückgehenden Erwerbstätigenzahlen werden 200.000 Arbeitsplätze in 2025 abgebaut haben. Die anderen Branchen können bis 2025 circa 140.000 neue Arbeitsplätze schaffen. Insgesamt gehen rund 60.000 Arbeitsplätze verloren. Die Branchen mit Arbeitsplatzverlusten gehören zur Landwirtschaft und zum Verarbeitenden Gewerbe. Ein zusätzlicher Bedarf an Erwerbstätigen insgesamt entsteht wegen der höheren Konsumbereitschaft der Haushalte aber vor allem in den Dienstleistungsbereichen (u. a. Einzelhandel).

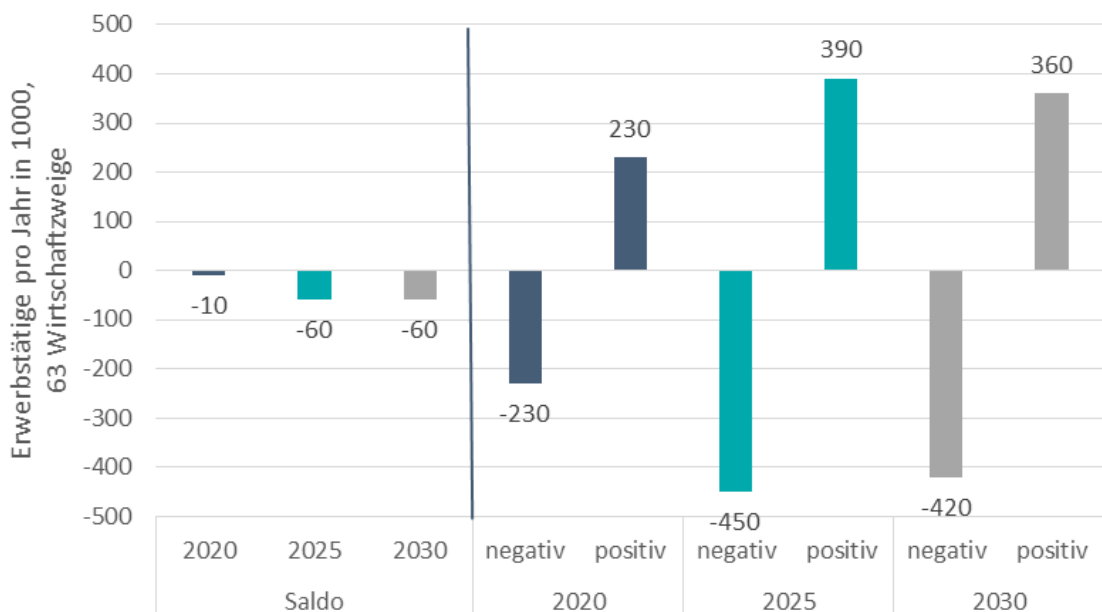
Abbildung 33
Gesamt-Szenario 1-5 – Anzahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Branchen im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Die Umverteilung zwischen den 54 Berufsfeldern ist ebenfalls größer als zuvor (Abbildung 34). Nach wie vor ist diese auch größer als zwischen den Branchen. Insgesamt werden bezogen auf die Berufsfelder bis zum Jahr 2025 rund 450.000 Arbeitsplätze verloren gehen und 390.000 Arbeitsplätze an anderer Stelle geschaffen werden. Bei einer steigenden Nachfrage nach Produkten würde sich der Verlust an Arbeitsplätzen von zuvor 100 000 (vergleiche Abschnitt 4.5) auf rund 60 000 reduzieren.

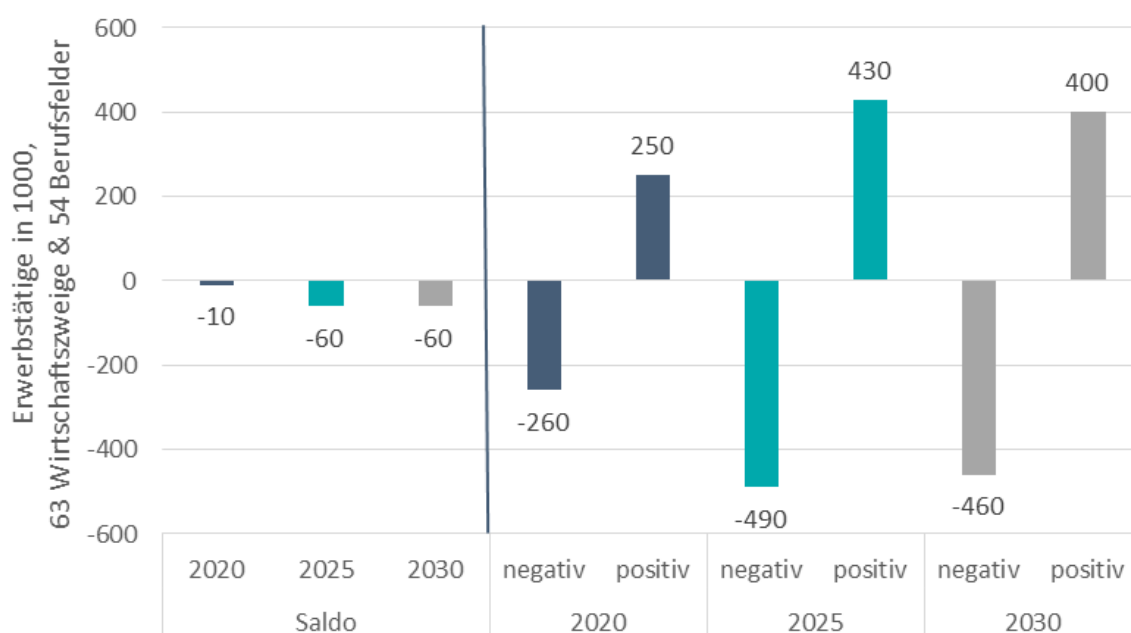
Abbildung 34
Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Allerdings werden sowohl bei der Analyse des Arbeitsplatzauf- bzw. -abbaus auf der Ebene von Wirtschaftszweigen als auch bei der Analyse auf der Ebene von Berufsfeldern nicht sämtliche Umverteilungen erfasst. Am deutlichsten werden die aufgrund der Umsetzung einer Industrie 4.0 erwarteten Umwälzungen am Arbeitsmarkt, wenn die Zahlen der Erwerbstätigen für jedes der 54 Berufsfelder innerhalb der 63 Wirtschaftszweige verglichen und alle 54 x 63 potenzielle Zellenbesetzungen in die Analyse einbezogen werden (Abbildung 35). Letztlich wird bei dieser Betrachtung eine Ströme-Rechnung durch eine kleinteilige Bestandsänderungsrechnung approximiert. Danach werden bis zum Jahr 2025 rund 490.000 Arbeitsplätze abgebaut, während 430.000 Arbeitsplätze an anderer Stelle neu entstehen.

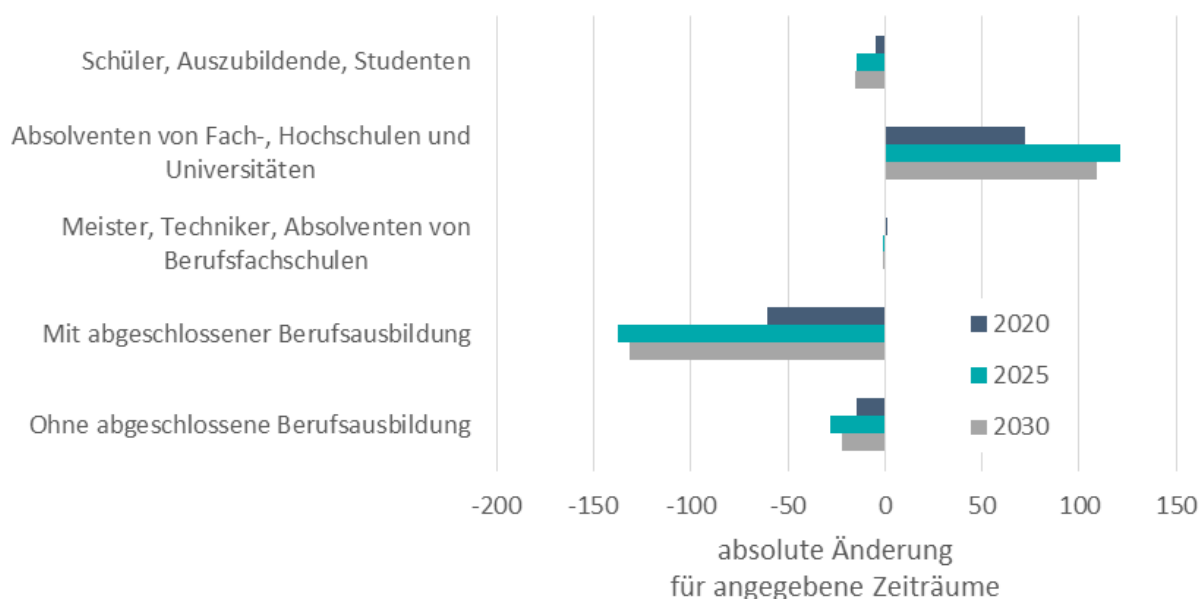
Abbildung 35
Gesamt-Szenario 1-5 – der ab- und aufgebauten Arbeitsplätze nach Wirtschaftszweigen und Berufsfeldern im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Auch in Bezug auf die Qualifikationsstufen (Abbildung 36) sind nun die negativen Folgen für die mittlere Qualifikationsebene mit einem Verlust von circa 130.000 Erwerbstätigen etwas geringer geworden. Das liegt an der zusätzlichen Nachfrage unter anderem im Einzelhandel, die auf die gestiegene Konsumnachfrage zurückgeht und zu zusätzlicher Nachfrage nach Personen mit einer Berufsausbildung führt.

Abbildung 36
Gesamt-Szenario 1-5 – Zahl der Erwerbstätigen nach Qualifikationsstufen im Vergleich zum Referenz-Szenario



Quelle: eigene Darstellung.

Ergebnisse Teil II

- (1) Zwar können zusätzliche Nachfragen die Arbeitsmarktbilanz insgesamt verbessern, allerdings werden die Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt dadurch größer. Der Strukturwandel hin zu mehr Dienstleistungen beschleunigt sich.
- (2) Die Berufe im Verarbeitenden Gewerbe sind weiterhin von einem Personalabbau am stärksten berührt.
- (3) Die zusätzliche Wertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe als Teil der Produktion erhöht jedoch sowohl die volkswirtschaftlichen Gewinne als auch die Löhne. Die Produktivitätszuwächse im Verarbeitenden Gewerbe und in der Landwirtschaft sorgen für steigende Löhne. Die Lohnunterschiede zwischen den Branchen des Verarbeitenden Gewerbes und der Dienstleistungen werden größer.

5 Schlussfolgerungen

Die Auswirkungen des Industrie-4.0-Szenarios auf die Arbeitsnachfrage insgesamt sind relativ moderat: In den Jahren 2000 bis 2010 stieg die Stundenproduktivität um circa 15 Prozent also um rund 1,5 Prozent pro Jahr. Die hergeleiteten Annahmen zu den Produktivitätssteigerungen (1,2 Prozent in Teil-Szenario 3) setzen auf diesen Annahmen auf. Des Weiteren wird im Teil-Szenario 4 unterstellt, dass die Arbeitsproduktivität um weitere 0,9 Prozent steigt. Beide Arbeitsproduktivitätssteigerungen erhöhen den im Referenz-Szenario bereits enthaltenen Produktivitätspfad. Der durch die Produktivitätssteigerungen hervorgerufene Verlust an Arbeitsplätzen mit Routine-Tätigkeiten im Verarbeitenden Gewerbe geht mit einem Aufwuchs an Ar-

beitsplätzen mit Nicht-Routine-Tätigkeiten einher, die ein im Schnitt höheres Qualifikationsniveau erfordern. Geht man davon aus, dass durch die Umsetzung von Industrie 4.0 eine neue Nachfrage nach Produkten generiert wird (Teil-Szenarien 1 bis 4), so werden über 490.000 bisher bestehende Arbeitsplätze bis 2025 verloren gehen, jedoch auch 430.000 neue entstehen. Der Wandel zu einer Dienstleistungsgesellschaft wird durch den Übergang zu Industrie 4.0 gestärkt. Zudem ergeben sich auch für weiter bestehende Arbeitsplätze Konsequenzen: So sind bereits umfangreiche Weiterbildungsmaßnahmen im Szenario berücksichtigt worden. Für die Personen, die an ihren Arbeitsplatz bleiben, ist der Übergang zu einer Industrie 4.0 somit mit Anpassungen verbunden. Neue Arbeitsabläufe und Tätigkeiten werden hinzukommen und andere verschwinden.

Im QuBe-Basisszenario ergeben sich aufgrund des demografischen Wandels aus den Modellprozessen tendenziell Engpässe im mittleren Qualifikationssegment. Das deutlich steigende Angebot im Bereich akademischer Qualifikationen wird nach den im Modell formalisierten absehbaren Entwicklungen nicht vollständig aufgenommen. Das Industrie-4.0-Szenario wirkt dieser Veränderung des Arbeitsangebotes entgegen, da die Arbeitskräftenachfrage im oberen Segment – insbesondere nach MINT-Berufen – steigt und im mittleren zurückgeht. Die Unterbeschäftigung bei Personen ohne berufliche Ausbildung vergrößert sich allerdings noch.

Auch ohne die modellierte „zusätzliche“ Nachfrage nach neuen Produkten lohnt sich eine Umsetzung der Industrie 4.0. Es wird ökonomisch ein höheres Wachstum erreicht, gleichzeitig nehmen aber die Importe ab. Da Deutschland ein rohstoffarmes Land ist, sind große Teile der Importe direkt oder indirekt (Halbfertigprodukte) auf Rohstoffzulieferungen zurückzuführen. Es kann festgestellt werden, dass ausgelöst durch steigende Arbeitsproduktivität und die Einbeziehung der Routine-Anteile der Berufsfelder die Löhne im Durchschnitt zunehmen.

Die Ergebnisse der bisherigen Arbeiten weisen darauf hin, dass die Digitalisierung einer vollständigen Umsetzung bedarf. Zwar führt die Digitalisierung in der Landwirtschaft und im Verarbeitenden Gewerbe zu positiven Ergebnissen aus Sicht der beteiligten Unternehmen, allerdings bleibt die gesamte Volkswirtschaft unter ihren Möglichkeiten. Die im Modell dargestellte demografische Entwicklung geht noch von einem Nettowanderungsgewinn von rund 200.000 Personen im Jahr aus. Angesichts der derzeitigen Wanderungsgewinne bleibt der aufgezeigte Entwicklungspfad langfristig somit unterhalb des gesamtwirtschaftlichen Wachstums, das im Modell durch die vergleichsweise geringe Zahl an Erwerbspersonen gehemmt wird. Es gelingt zwar durch die angenommenen Arbeitsproduktivitätsveränderungen den Wachstumspfad bei einer nahezu unveränderten Erwerbstätigenzahl zu erhöhen, allerdings könnte dieser unter den getroffenen Annahmen noch höher liegen, wenn auch die Produktivitätsfortschritte im Dienstleistungsbereich gehoben werden.

Die Szenario-Rechnungen und die getroffenen Annahmen machen eines jedoch deutlich: Letztlich gibt es keinen anderen Weg – wenn Deutschland nicht in der La-

ge ist, eine Umsetzung der Industrie 4.0 durchzuführen, dann werden andere Länder dies dennoch tun. Und die Annahmen, die sich im obigen Szenario positiv auf Deutschland auswirken (Vorreiter, zusätzliche Nachfrage im Ausland, Wettbewerbsvorteile) richten sich dann gegen den hiesigen Wirtschaftsstandort. Produktionsrückgänge und zusätzliche Arbeitslosigkeit sind die Folgen. Jene werden ausgelöst durch den Verlust an Wettbewerbsfähigkeit und Verschiebung der inländischen Nachfrage hin zu importierten Produkten. Die Aufgabe kann also nur sein, den Übergang möglichst nachhaltig zu gestalten.

Grundsätzlich sind auch höhere Produktivitätssteigerungen als modelliert denkbar. Aber ebenso können die berücksichtigten Kosten für die Digitalisierung höher sein. Hier wurde eine Verdopplung angenommen, allerdings gehen Studien (wie bereits erläutert) sogar von einer Vervierfachung aus. Die angenommenen Veränderungen der Berufsstrukturen in den Branchen führen zu deutlichen Bewegungen zwischen den Berufsfeldern. Alle drei Faktoren können zumindest die Wirkung auf den Umschlag zwischen neuen und alten Arbeitsplätzen erheblich erhöhen. Die positive Beschäftigungsentwicklung in Deutschland vollzieht sich bislang bei geringer Dynamik in Wirtschaft und Arbeitsmarkt (Klinger/Weber 2014). Ein stärkeres Investitions- und Produktivitätswachstum könnte also das Fundament dieser Entwicklung stärken.

Die getroffenen Annahmen und Modellierungen sind vor diesem Hintergrund kritisch zu prüfen. Sollten sich neue Erkenntnisse über die Transformation zu einer Industrie 4.0 ergeben, so wären die Szenarien entsprechend anzupassen oder auch zu erweitern. Das vorgestellte Szenario kann deshalb nur einen ersten Schritt darstellen, um die Folgen von Industrie 4.0 auf den Arbeitsmarkt und die Wirtschaft aufzuzeigen. So bleibt zunächst offen, inwieweit sich die Umsetzung von Industrie 4.0 in anderen Regionen (USA, EU, BRICS¹⁰) auf den deutschen Wirtschaftsstandort auswirken. Zudem gilt es in Erfahrung zu bringen, inwieweit sich branchenspezifische Strukturveränderungen hinsichtlich der Berufe oder gar Unternehmensorganisation tatsächlich vollziehen und ob eventuell Bedarfe nach neuen Berufen entstehen.

Um diesen und anderen Anforderungen zu genügen, werden in Zukunft weitere Datensätze ausgewertet und beispielsweise Ergebnisse von zusätzlichen Betriebsbefragungen in die Szenario-Bildung mit einbezogen werden müssen. Schließlich ist es sinnvoll auch eine Digitalisierung der gesamten Wirtschaft zu analysieren. Hieraus könnten dann auch konkrete Anknüpfungspunkte oder Empfehlungen für staatliches oder betriebliches Handeln abgeleitet werden.

¹⁰ BRICS steht für die Anfangsbuchstaben der fünf Staaten: Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika.

Literatur

- Autor, David H.; Levy, Frank; Murnane, Richard J. (2013): The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. In: The Quarterly Journal of Economics, S. 118(4).
- Berger, Roland (2014): INDUSTRY 4.0 The new industrial revolution. How Europe will succeed.
- BITKOM (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Studie.
- BMAS (2015): Arbeiten weiter denken. Grünbuch. Arbeiten 4.0. Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
- BMBF (2014): Zukunftsbild Industrie 4.0. Hightech-Strategie. Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Bonin, Holger; Gregory, Terry; Zieran, Ulrich (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. Kurzexpertise im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales.
- Bowles, Jeremy (2014): The computerisation of European jobs-who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment?, Brussels: Bruegel.
- Brzeski, Carsten; Burk, Inga (2015): Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt. INGDiBa Economic Research.
- DBR (2014): Industrie 4.0 – Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor. Aktuelle Themen. Deutsche Bank Research. Februar 2014.
- Dengler, Katharina; Matthes, Britta (2015, im Erscheinen): Substituierbarkeit von Berufen durch Computerisierung in Deutschland (IAB-Forschungsbericht), mimeo.
- DIE WELT (2014): Deutschland droht die Zukunft zu verschlafen. 09.12.2014. URL: www.welt.de/135151615.
- Die ZEIT (2014): In der Zukunftsfabrik. 23.01.2014.
- Distelkamp, Martin; Hohmann, Frank; Lutz, Christian; Meyer, Bernd ; Wolter, Marc I. (2003): Das IAB/INFORGE-Modell: Ein neuer ökonometrischer Ansatz gesamtwirtschaftlicher und länderspezifischer Szenarien. In: Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (BeitrAB), Band 275, Nürnberg.
- Drosdowski, Thomas; Wolter, Marc Ingo zusammen mit Helmrich, Robert; Maier, Tobias (2010): Entwicklung der Erwerbspersonen nach Berufen und Qualifikationen bis 2025: 16Modellrechnung mit dem BIBB-DEMOS-Modell. In: Helmrich, R.; Zika, G. (2010): Beruf und Qualifikation in der Zukunft, Bonn.
- Emec, Soner; Stock, Tim; Bilge, Pinar; Tufinkgi, Philippe; Kaden, Cornelia; Seliger, Günther (2013): Analyse von Potenzialen der Material- und Energieeffizienz in ausgewählten Branchen der Metall verarbeitenden Industrie. Berlin.
- Forschungsunion & acatech (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael A. (2013): The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization?, University of Oxford.

- Heng, Stefan (2014): Industrie 4.0 - Upgrade des Industriestandortes Deutschland steht bevor. Deutsche Bank Research.
- Helmrich, Robert; Zika, Gerd [Hrsg.] (2010): Beruf und Qualifikation in der Zukunft, BIBB-IAB-Modellrechnungen zu den Entwicklungen in den Berufsfeldern und Qualifikationen bis 2025, Schriftenreihe des Bundesinstituts für Berufsbildung, Bonn.
- Helmrich, Robert; Zika, Gerd; Wolter, Marc Ingo; Schandock, Manuel; Maier, Tobias; Kalinowski, Michael; Hummel, Markus; Hänisch, Carsten; Drosdowski, Thomas; Bremser, Felix; Bott, Peter (2012): Engpässe auf dem Arbeitsmarkt: Geändertes Bildungs- und Erwerbsverhalten mildert Fachkräftemangel, Bonn.
- Hummel, Markus; Thein, Angela; Zika, Gerd (2010): Der Arbeitskräftebedarf nach Wirtschaftszweigen, Berufen und Qualifikationen bis 2025, Modellrechnungen des IAB. In: R. Helmrich & G. Zika (Hrsg.), Beruf und Qualifikation in der Zukunft. BIBB-IAB-Modellrechnungen zu den Entwicklungen in Berufsfeldern und Qualifikationen bis 2025, (Berichte zur beruflichen Bildung), Bielefeld: Bertelsmann, S. 81–102.
- Kalinowski, Michael; Quinke, Hermann (2010): Projektion des Arbeitskräfteangebots bis 2025 nach Qualifikationsstufen und Berufsfeldern. In: Helmrich, R.; Zika, G. (2010): Beruf und Qualifikation in der Zukunft, Bonn.
- Klinger, Sabine; Weber, Enzo (2014): Seit der Großen Rezession: schwächerer Zusammenhang von Konjunktur und Beschäftigung. Wirtschaftsdienst, 94, 10.
- Maier, Tobias; Zika, Gerd; Wolter, Marc Ingo; Kalinowski, Michael; Helmrich, Robert (2014a): 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, Bonn.
- Maier, Tobias; Zika, Gerd; Mönnig, Anke; Wolter, Marc Ingo; Kalinowski, Michael; Hänisch, Carsten; Helmrich, Robert; Schandock, Manuel; Neuber-Pohl, Caroline; Bott, Peter; Hummel, Markus (2014b): Löhne und berufliche Flexibilitäten als Determinanten des interaktiven QuBe-Arbeitsmarktmodells. Ein Methodenbericht zur Basisprojektion der dritten Welle der BIBB-IAB Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. Wissenschaftliche Diskussionspapiere BIBB Heft 148.
- Mantau, Udo; Döring, Przemko; Hiller, Dirk (2013): Holzeinsatz im Bauwesen – Verwendungsstrukturen nach Gebäuden und Gewerken. In: Weimar, H. & Jochem, D. (Hrsg.): Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Thünen Report 9.
- PWC (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Studie. Oktober 2014.
- Reflex Verlag (2015): Industrie 4.0 Die vierte industrielle Revolution. Beilage des Handelsblattes vom März 2015.
- Schnur, Peter ; Zika, Gerd (Hrsg.) (2009): Das IAB/INFORGE-Modell. Ein sektorales makroökonomisches Projektions- und Simulationsmodell zur Vorausschätzung des längerfristigen Arbeitskräftebedarfs. IAB-Bibliothek 318, Nürnberg.
- Spath, Dieter (Hrsg.); Ganschar, Oliver; Gerlach, Stefan; Hämmerle, Moritz; Krause, Tobias; Schlund, Sebastian (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer - Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation.
- Tiemann, Michael; Schade, Hans-Joachim; Helmrich, Robert; Hall, Anja; Braun, Uta; Bott, Peter (2008): Berufsfeld-Definitionen des BIBB auf Basis der KldB1992. Bundesinstitut für Berufsbildung.

TÜVRheinland (2013): 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.

VDE (2013) VDE-Studie: Industrie 4.0 lässt vorerst auf sich warten. Verband der Elektrotechnik. Pressemitteilung 32/2013 vom 08. April 2013.

www.plattform-i40.de

Zika, Gerd; Helmrich, Robert; Kalinowski, Michael; Wolter, Marc Ingo; Hummel, Markus; Maier, Tobias; Hänisch, Carsten; Drosdowski, Thomas (2012): In der Arbeitszeit steckt noch eine Menge Potenzial. Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen bis 2030. In: IAB-Kurzbericht 18/2012, S. 1–12.

Zika, Gerd; Maier, Tobias (Hrsg.) (2015): Qualifikation und Beruf in Deutschlands Regionen bis 2030. Konzepte, Methoden und Ergebnisse der BIBB-IAB-Projektionen. IAB-Bibliothek 353, Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB), Nürnberg.

In dieser Reihe sind zuletzt erschienen

Nr.	Autor(en)	Titel	Datum
12/2014	Brussig, M. Stegmann, T. Zink, L.	Aktivierung von älteren ALG-II-Beziehenden mit mehrfachen Vermittlungshemmnissen: Der Einfluss lokaler Umsetzungsstrategien	11/14
13/2014	Kropp, P. Danek, S. Purz, S. Dietrich, I. Fritzsche, B.	Die vorzeitige Lösung von Ausbildungsverträgen: Eine Beschreibung vorzeitiger Lösungen in Sachsen-Anhalt und eine Auswertung von Bestandsdaten der IHK Halle-Dessau	11/14
14/2014	Bechmann, S. Dahms, V. Tschersich, N. Frei, M. Leber, U. Schwengler, B.	Betriebliche Qualifikationsanforderungen und Probleme bei der Besetzung von Fachkräftenstellen: Auswertungen aus dem IAB-Betriebspanel 2013	11/14
15/2014	Grgic, M. Matthes, B. Stüber, H.	Die Fachkräftereserve in der Kinderbetreuung und -erziehung: Ergebnisse für Deutschland und die Bundesländer	12/14
1/2015	Schwengler, B. Eigenhüller, L. Bellmann, L.	Fachkräftebedarf und betriebliche Aus- und Weiterbildung in der Metropolregion Nürnberg: Auswertungen aus dem IAB-Betriebspanel 2013	2/15
2/2015	Hohmeyer, K. Wolff, J.	Selektivität von Ein-Euro-Job-Ankündigungen	3/15
3/2015	Daumann, V. Dietz, M. Knapp, B. Strien, K.	Early Intervention - Modellprojekt zur frühzeitigen Arbeitsmarktintegration von Asylbewerberinnen und Asylbewerbern: Ergebnisse der qualitativen Begleitforschung	4/15
4/2015	Bernhard, S. Grüttner, M.	Der Gründungszuschuss nach der Reform: Eine qualitative Implementationsstudie zur Umsetzung der Reform in den Agenturen	4/15
5/2015	Evers, K. Schleinkofer, M.	Der Gründungszuschuss vor und nach der Reform: Same same, but different: Ein Vergleich der Teilnehmerstrukturen	5/15
6/2015	Fertig, M.	Quantitative Wirkungsanalysen zur Berliner Joboffensive Endbericht zum 5. Mai 2015 vorgelegt von ISG Institut für Sozialforschung und Gesellschaftspolitik GmbH, Köln	8/15
7/2015	Diener, K. Götz, S. Schreyer, F. Stephan, G. Lenhart, J. Nisic, N. Stöhr, J.	Rückkehr ins Berufsleben nach familienbedingter Unterbrechung: Befunde der Evaluation der zweiten Förderperiode des ESF-Programms „Perspektive Wiedereinstieg“ des Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend	9/15

Stand: 14.10.2015

Eine vollständige Liste aller erschienenen IAB-Forschungsberichte finden Sie unter <http://www.iab.de/de/publikationen/forschungsbericht.aspx>

Impressum

IAB-Forschungsbericht 8/2015

Herausgeber

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit
Regensburger Str. 104
90478 Nürnberg

Redaktion

Regina Stoll, Jutta Palm-Nowak

Technische Herstellung

Gertrud Steele

Rechte

Nachdruck - auch auszugsweise -
nur mit Genehmigung des IAB gestattet

Website

<http://www.iab.de>

Bezugsmöglichkeit

<http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb0815.pdf>

ISSN 2195-2655

Rückfragen zum Inhalt an:

Enzo Weber
Telefon 0911.179 7643
E-Mail enzo.weber@iab.de

Gerd Zika
Telefon 0911.179 3072
E-Mail gerd.zika@iab.de