

Operationalisierung von Ersetzungspotentialen in Erwerbstätigkeiten durch Technologie

Anna Lewalder, Felix Lukowski, Caroline Neuber-Pohl, Michael Tiemann

VORABVERSION

Änderungen in einer späteren Veröffentlichung vorbehalten

Bonn, Oktober 2018

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Ersetzung von Berufen	3
2.1 CEP-Index: Konzept, deskriptive Ergebnisse	4
2.2 QPE-Index: Konzept, deskriptive Ergebnisse	10
2.3 Unterschiede der Ergebnisse der beiden Indizes	14
2.4 Ergänzung des CEP durch Informationen von QPE	16
3. Ausschöpfung von Automatisierungspotenzialen in Branchen.....	19
3.1 QP-Digitalisierungsgrad 4.0	22
3.2 QP Anteil digitaler Technologien an Investitionen	23
3.3 Digitalisierungsgrad der Arbeitsmittel in 10 Jahren	24
3.4 Digitalisierungsindizes als Ausschöpfungsindex.....	27
4. Fazit	29
5. Literatur.....	30

1. Einleitung

Eine zentrale und oft diskutierte Frage im Zuge der Digitalisierung der Arbeitswelt ist, ob es zu einer Verdrängung menschlicher Arbeitskraft durch Maschinen kommt. In den meisten Studien, die auch im Folgenden vorgestellt werden, wird Bezug genommen auf Arbeitsaufgaben, die durch „intelligente“ Maschinen, Roboter, (selbstlernende) Algorithmen oder Ähnliches übernommen werden könnten. Interessant ist dabei die von vielen Studien offen gelassene Diskrepanz zwischen den tatsächlichen Aufgaben von Erwerbstätigen, die sie zurzeit bearbeiten und den in der Zukunft liegenden möglichen Veränderungen. Solche Veränderungen zu beschreiben ist schwierig, da viele Arbeitsaufgaben, die übernommen werden können oder als nicht ersetzbar neu dazukommen, so wenig verbreitet und bekannt sind, dass sie selten in den der Forschung zugänglichen Datenquellen wie Stellenanzeigendatenbanken oder Berufsinformationssystemen vorkommen. Auch über Umfragen kann man sich dem nur nähern, denn oft ist hier die Größe der Stichprobe zu gering, um etwas über diese seltenen Fälle zu erfahren. Angaben zu möglichen Ersetzungen sollten sich daher auf eine möglichst breite Datenbasis stützen, damit Entwicklungen am aktuellen Rand erfasst werden können.

Mit der Digitalisierung der Arbeitswelt wird oft die Angst vor Arbeitslosigkeit und sozialen Verwerfungen verbunden. Bisherige Studien deuten darauf hin, dass diese Sorge unbegründet scheint. Unterm Strich kommt es nicht zu massiven Arbeitsplatzverlusten, da der Arbeitsmarkt deutlich an Dynamik gewinnt (vgl. HELMRICH u. a. 2016; WOLTER u. a. 2016). Besonders auf der Ebene der Berufe könnten sich demnach erhebliche Unterschiede der Arbeitsmarktauswirkungen der Digitalisierung herauskristallisieren. Um diese Unterschiede genauer zu betrachten sind zahlreiche Studien auch besonders für den deutschen Arbeitsmarkt durchgeführt worden, die Berufe auf Basis ihres Tätigkeitsprofils nach ihren Ersetzungspotenzialen¹ einstufen und dadurch das Ersetzungsrisiko dieser Berufe einschätzen (vgl. FREY/OSBORNE 2017; DENGLER/MATTHES 2015; ARNTZ u. a. 2016a; PFEIFER/SUPHAN 2015; TIEMANN 2016a). Neben der bloßen Möglichkeit eine Tätigkeit zu automatisieren, spielen daneben die Rahmenbedingungen des Betriebs eine Rolle, die bestehenden Ersetzungspotenziale ausnutzen zu können oder zu wollen. Einer Betriebsbefragung zu Folge investieren Betriebe nicht in digitale Technologien, da sie zu diesem Zeitpunkt in ihnen meistens keinen weiteren Mehrwert sehen (vgl. ARNTZ u. a. 2016b). Im Rahmen dieses Aufsatzes knüpfen wir an die bestehende Diskussion über die Ermittlung von Ersetzungswahrscheinlichkeiten an und ergänzen diese um die

¹ Im Folgenden werden die Begriffe „Ersetzungspotenzial“ und „Automatisierungspotenzial“ synonym verwendet. Das geschieht vor dem Hintergrund der Annahme, dass Aufgaben, die automatisierbar sind, auch ersetzt werden können. Eine grundsätzliche Auseinandersetzung mit der Tragweite und Tragfähigkeit dieser Annahme bieten u.a.: Pfeiffer/Suphan 2015 und Tiemann 2016b.

Diskussion über Ausschöpfung von Ersetzungspotenzialen und tatsächlicher Technologieadaption innerhalb der Betriebe. Dabei liegt unser Fokus in der Weiterentwicklung von Indizes, die das Risiko einzelner Berufe, ersetzt zu werden, beschreiben.

In Kapitel 2 stellen wir zwei Indizes des Ersetzungspotenzials vor: einmal aus Arbeitnehmer- und einmal aus Arbeitgeberperspektive. Daraufhin entwickeln wir eine leicht interpretierbare Abwandlung, die die Informationen beider Indizes nutzt und sich mit einem hohen Grad an Detailliertheit für Berufe in Branchen berechnen lässt. In Kapitel 3 widmen wir uns der Ausschöpfung von Ersetzungspotenzialen und den Investitionen in digitale Technologien in den Branchen. Wir stellen verschiedene Maße vor, die über den Digitalisierungsstand und der möglicherweise zukünftig zu erwartenden Veränderungen informieren und abstrahieren die zu erwartende Ersetzung von Aufgaben über die Heterogenität der Ausschöpfung des Ersetzungspotenziales in den einzelnen Branchen. In Kapitel 4 schließen wir mit einem Fazit.

2. Ersetzungspotentiale in Berufen

In den vergangenen Jahren erschienen viele Studien, die versuchen die Ersetzbarkeit von Berufen in einem Index fassbar und vergleichbar zu machen. Ausgangspunkt hierfür ist der Tätigkeitsansatz von AUTOR, LEVY und MURNANE (2003). Dieser geht davon aus, dass mit voranschreitender Computerisierung Algorithmen verfeinert werden, die es Maschinen ermöglichen routinehafte (d.h. repetitive und programmierbare) Tätigkeiten von Arbeitskräften zu übernehmen. Der Anteil solcher Tätigkeiten am Tätigkeitsprofil bildet das Ersetzungspotenzial eines Jobs. Vorhandene Studien über Ersetzungspotenziale unterscheiden sich jedoch teilweise wesentlich darin, wie die Routinehaftigkeit begutachtet wird, welche Rolle die tägliche Anwendung von Fähigkeiten und Fertigkeiten spielt und wie wichtig der Arbeitskontext ist (siehe auch HELMRICH u. a. 2016).

Die Aufsätze von FREY und OSBORNE (2017) sowie DENGLER und MATTHES (2015) sind Beispiele dafür, die Routinehaftigkeit anhand der technologischen Möglichkeit, Tätigkeiten zu ersetzen, zu bewerten. Dieser Ansatz lässt die Konstruktion einfach interpretierbarer Indizes von Ersetzbarkeit zu. Andere Studien regen jedoch an, auch die Häufigkeit von Tätigkeiten im Arbeitskontext zu betrachten, die durch ihre Anforderungen z. B. an Selbstverantwortung, Kreativität oder Kommunikation, menschliche Arbeit unersetzlich macht (vgl. z. B. DEMMING 2017; ARNTZ u. a. 2016a; TIEMANN 2016a; PFEIFFER/SUPHAN 2015; FREY/OSBORNE 2017). PFEIFFER (2007) führt hierfür das Beispiel des Monteurs an, dessen Arbeit häufig routinehaft ist, jedoch in den vergangenen Jahren mit immer mehr Verantwortung in der Problemlösung und –antizipation in einem unwägbareren Arbeitsumfeld verknüpft ist. So argumentiert die

Autorin für diesen Fall, dass trotz striktem Arbeitsprotokoll eine Ersetzung der Arbeitskraft durch eine Maschine unwahrscheinlich scheint.

Diesem Gedanken folgend stellen wir im Rahmen dieses Kapitels zwei Ersetzbarkeitsindizes vor, die auf Befragungen von Beschäftigten einerseits und Entscheidern in Betrieben andererseits beruhen und verschiedene Anforderungsdimensionen in den Tätigkeiten betrachten (Kapitel 2.1 CEP-Index: Konzept, deskriptive Ergebnisse und Kapitel 2.2 QPE-Index: Konzept, deskriptive Ergebnisse). Anschließend stellen wir die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Bewertung der Ersetzbarkeit durch die beiden Indizes dar (Kapitel 2.3 Unterschiede der Ergebnisse der beiden Indizes) und nutzen beide, um einen für einen hohen Detailgrad nach Beruf und Branche einfach zu interpretierenden Index abzuleiten.

2.1 CEP-Index: Konzept, deskriptive Ergebnisse

Das Ersetzungspotential speist sich aus Informationen aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2017/18 (ETB). Darin wurden 20.000 Kernerwerbstätige in Deutschland, das sind Erwerbstätige, die mindestens zehn Stunden in der Woche gegen Bezahlung arbeiten, befragt. Die Perspektive ist also die von Individuen. Daher sind die Antworten auf die Fragen subjektive Einschätzungen. Das hat den Vorteil, dass aktuelle, konkrete Informationen zu Bedingungen und Anforderungen am Arbeitsplatz vorliegen, die von den Befragten gewissermaßen als „Experten in eigener Sache“ gegeben wurden. In anderen Datenquellen, wie beispielsweise dem BERUFENET, sind redaktionell gesteuerte Informationen über berufliche Inhalte zu finden, wie sie für Vermittlungszwecke relevant sind (laut Klassifikation der Berufe 2010 der Kompetenzkatalog der BA). Das führt einerseits zu einer relativ großen Zahl an einzelnen Inhalten oder Kompetenzen. Andererseits sind diese Angaben normiert, denn die Betriebe geben zwar Auskunft, welche Inhalte sie suchen und nutzen wollen, aber diese Informationen gelangen nur gefiltert in die Datenbank.

Diese Datenbank ist die sicherlich umfassendste in diesem Sinne für berufliche Inhalte in Deutschland. Allerdings müsste auch hier die Frage gestellt werden, inwiefern alle in einem Beruf vorkommenden Aufgaben und Kompetenzen darin hinterlegt sind. Denn hier greift im Grunde eine ähnliche Logik wie bei Stellenanzeigen, in denen typischerweise vorausgesetzte Kompetenzen nicht mehr angegeben werden. Während das in diesem Fall durch die historische Entwicklung der Datenbasis und eine umsichtige redaktionelle Betreuung aufgefangen wird, bleibt die Frage bestehen, wie es mit neuen, aktuellen Kompetenzen aussieht. Aufgaben, die sich in einer Handvoll Betriebe stellen, die gewissermaßen an der Speerspitze der Digitalisierung stehen, sind nicht sofort in dieser Datenbank verzeichnet. Am aktuellen Rand, der ja gerade für die vorliegenden Fragen nach Ersetzungspotentialen interessant ist, entsteht so möglicherweise eine Lücke in den Daten.

Dem stellen wir mit dem Ersetzungspotential auf Basis der ETB (hier: CEP) einen alternativen Ansatz gegenüber. Er orientiert sich eng an der Definition von Ersetzungspotential in der Literatur (vgl. AUTOR/LEVY/MURNANE 2003; FREY/OSBORNE 2017) und bildet ein Spektrum ab von monotonen, programmierbaren Aufgaben bis hin zu kreativen Aufgaben mit hohen kognitiven Anforderungen. Programmierbar sind Aufgaben, die bis ins letzte Detail vorgeschrieben sind (F411_02, F411_03, additiver, gewichteter Routineindex). Auf der anderen Seite stehen Ausbildungsaufgaben (F312), Reparaturaufgaben (F306) und Anforderungen, neue Lösungen zu finden (F411_05).

Der Routineindex ist ein additiver Index über die Fragen danach, wie häufig „die Arbeitsdurchführung bis in alle Einzelheiten vorgeschrieben ist“ (F411_02) und wie häufig „sich ein und derselbe Arbeitsgang bis in alle Einzelheiten wiederholt“ (F411_03). Der Wertebereich läuft von {0} bis {1}. Dieser Index bestimmt das programmierbare Ende der Ersetzbarkeitsskala.

$$routine = \frac{F411_{02} + F411_{03}}{8}; F411_{02} \text{ und } F411_{03} \in \{1,2,3,4\}$$

$$\overline{routine}_{\{ungewichtet\}} = 0,6609$$

Um die „engineering bottlenecks“ (FREY/OSBORNE 2017) zu bestimmen, die das andere Ende der Ersetzbarkeitsskala definieren, werden drei Variablen genutzt. Das sind die Frage danach, wie häufig „Ausbilden, Lehren, Unterrichten, Erziehen“ (F312, für Interaktion) vorkommen, die Erwerbstätigen „bisherige Verfahren verbessern oder etwas Neues ausprobieren“ (F411_05, für Kreativität) und wie häufig „Reparieren, Instandsetzen“ (F306, für „perception und manipulation“ oder Fingerfertigkeit) als Tätigkeit ausgeübt wird. Die Wertebereiche der Variablen laufen zwischen {1} und {4}, bzw. {1} und {3}. Daher wurde die Korrelationsmatrix für die Faktorenanalyse unter Verwendung polychorischer Korrelationen erstellt.

Die Eignung der Variablen für eine Faktorenanalyse ist (bedingt) gegeben (Tabelle 1). Die KMO-Werte zeigen eine Eignung an (obschon alle unter 0,6 bleiben, der Wert für Reparieren liegt unter 0,5). Allerdings wird das Ersetzungspotential nicht nur in der ETB 2018 mit diesen Variablen gebildet, sondern auch in der ETB 2012 und kann so auch in der ETB 2006 abgebildet werden. Diese Kongruenz führte zur Nutzung aller beschriebenen Variablen in der Faktorenanalyse.

Tabelle 1: KMO-Werte und Faktorladungen für Index zum Ersetzungspotential

Merkmal	2012		2018	
	KMO	Faktorladungen	KMO	Faktorladungen
Routineindex (F411_02, F411_03)	0,615	-0,271	0,559	-0,325
Ausbilden, Lehren, Unterrichten, Erziehen (F312)	0,562	0,517	0,579	0,423
Reparieren, Instandsetzen (F306)	0,542	0,147	0,430	0,085
Verfahren verbessern, Neues ausprobieren (F411_05)	0,548	0,698	0,543	0,754
Gesamt	0,562	-/-	0,550	-/-

Quelle: BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen 2012 und 2018, eigene Berechnungen

Mit Hilfe der auf einen Faktor reduzierten Informationen der Ausgangsvariablen bekommt jede und jeder Befragte einen Faktorwert, der ihre oder seine individuelle Einordnung auf diesem Spektrum anzeigt. Den einzelnen Individuen wurden Faktorenwerte zugewiesen mit

$$cep = - \sum_{i=1}^4 faktorladung_i * var_i ; var_i := Standardisierte Variable$$

$$\overline{cep_{\{ungewichtet\}}} = -0,00107$$

Der Range reicht von $cep_{\{min\}} = -2,23066$ bis $cep_{\{max\}} = 2,76703$.

Positive Werte zeigen eher programmierbare Aufgaben, negative eher schlecht programmierbare an. Das alleine sagt aber noch nichts aus. Erst in der Zusammenfassung auf der Ebene von Berufsgruppen (Dreisteller der KldB2010) beispielsweise können (gewichtete) durchschnittliche Werte für Berufe ermittelt werden. Diese zeigen dann, wie sehr im Schnitt ein Beruf eher programmierbare oder eher kreative oder interaktive Aufgaben beinhaltet.

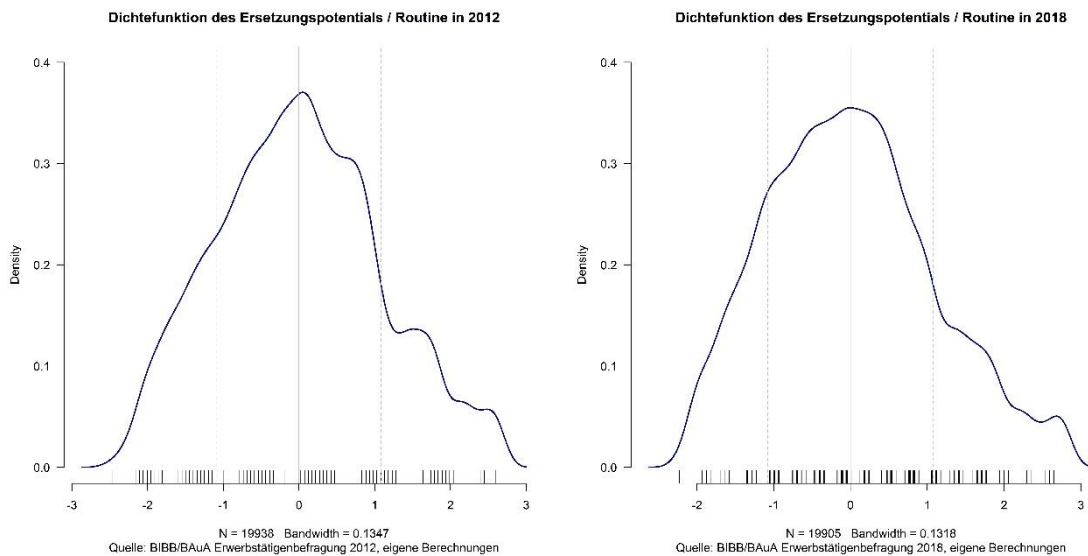
Erst im letzten Schritt wird dann ein Schwellenwert für den Index angenommen. Der Anteil der Erwerbstätigen in einem Beruf, der über diesem Schwellenwert liegt, kann dann als prozentuales Ersetzungspotential bezeichnet werden (Kapitel 2.4 Ergänzung des CEP durch Informationen von QPE).

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der Dichtefunktionen der Ersetzungsmaße der letzten beiden Erwerbstätigenbefragungen. Dabei fällt auf, dass die Ersetzungspotentiale höher werden, was sich vor allem darin zeigt, dass im positiven Wertebereich die Dichtefunktion weniger steil ist aber dafür etwas mehr Fälle gerade über einem Wert von 1 fasst.

Gleichzeitig ist die gesamte Verteilung etwas flacher geworden, wobei die Verteilung im negativen Bereich etwas enger geworden ist. Die annähernde Normalverteilung bis auf die Verwerfungen im positiven Wertebereich bleibt bestehen. In 2012 lag der Mittelwert bei 0,0,

der Median bei -0,03, das untere Quartil lag unter -0,79, das obere Quartil lag über 0,67. In 2018 liegt der Mittelwert bei -0,001, der Median bei -0,05, das untere Quartil liegt unter -0,76, das obere Quartil über 0,66.

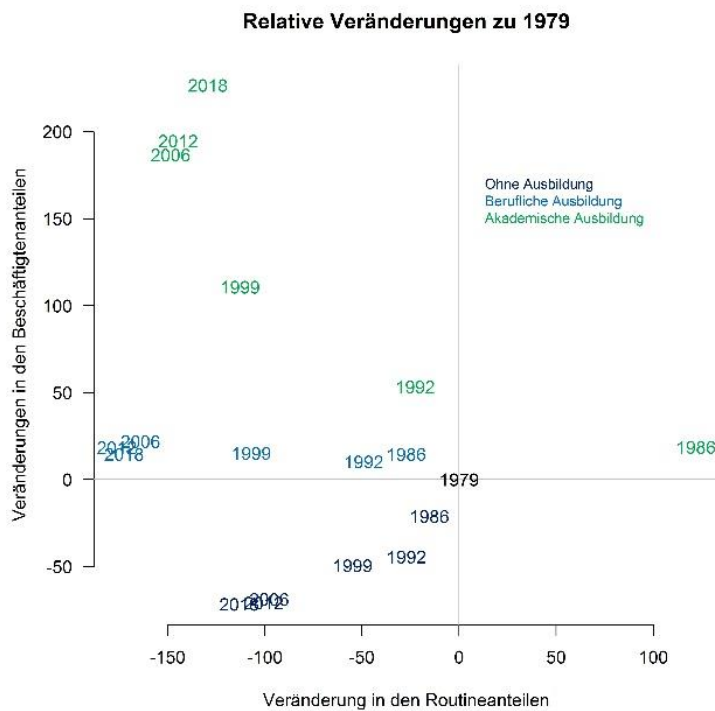
Abbildung 1: Dichtefunktionen der Ersetzungspotentiale 2012 und 2018



Eine Tendenz zu leicht höheren Ersetzungspotentialen als in den vorangegangenen Erhebungen zeigt sich auch in einem längeren Zeitvergleich (Abbildung 2). Mit dieser Abbildung 2 kann auch ein Teil der „Polarisierungshypothese“ anschaulich geprüft werden, denn nach dieser sollte der Beschäftigtenanteil von Personen mit mittlerer Qualifikation über die Zeit zurückgehen, der von Un-/Angelernten tendenziell steigen, und der von akademisch Qualifizierten sollte ebenfalls steigen. In welche Richtung sich der Routineanteil entwickelt, ist nicht ganz klar, denn hier finden ja immer wieder Ersetzungen statt. In der Tendenz müsste man aber von einem Rückgang ausgehen.

Bei Erwerbstätigen mit einer akademischen Ausbildung als höchstem beruflichen Bildungsabschluss zeichnet sich ein klarer positiver Beschäftigungstrend ab. Die Ersetzbarkeitspotentiale oder Routineinhalte dieser Erwerbstätigen steigen jedoch schon seit 2006. Bei Erwerbstätigen mit beruflicher Ausbildung und auch denen ohne liegt der erste Anstieg der Routineanteile seit 2012 vor. Interessanterweise ist der Beschäftigungstrend in beiden Gruppen genau gegenteilig zu einem nach der Polarisierungsthese erwartbaren Verlauf, denn die Beschäftigtenanteile der Erwerbstätigen mit beruflicher Ausbildung stagnieren, bzw. steigen leicht, während die derjenigen ohne Ausbildung kontinuierlich zurückgehen.

Abbildung 2: Entwicklung von Beschäftigungsanteilen und Ersetzungspotentialen seit 1979



Quelle: Erwerbstätigenbefragungen 1979 – 2018, gewichtete Werte, eigene Berechnungen

Bezogen auf die Dreisteller der KldB2010 können 143 der 144 Dreisteller abgebildet werden. Allerdings sind davon 35 Dreisteller mit weniger als 20 Personen besetzt (ungewichtet), sodass nur Informationen aus 108 Dreistellern verwendet werden können. In Tabelle 2 werden die aggregierten Werte des CEP für die je 10 niedrigsten und höchsten Werte ausgewiesen. Es wird deutlich, dass insbesondere Lehrtätigkeiten aber auch Tätigkeiten im Bereich der IT eher niedrige Ersetzungspotentiale aufweisen, während Fahrzeugführungstätigkeiten eher hohe Potentiale aufweisen. Allerdings sind diese Dreisteller auch schon Zusammenfassungen je ganzer Reihen von weiteren Berufen. Weiterhin ist nach wie vor denkbar, dass – wie bei allen empirischen Arbeiten in diesem Zusammenhang – Berufe, die in der Lösung der gestellten Aufgaben ein hohes Erfahrungswissen voraussetzen (wie bei der Metallherzeugung, in der Fahrzeugführung, in der Gastronomie oder auch der Reinigung) menschliche Erwerbstätige diese Aufgaben als routinehaft beschreiben, diese Routinen aber eher implizites Wissen bedeuten, was wiederum weniger gut in technologischen Lösungen abgebildet werden kann.

Tabelle 2: CEP für ausgewählte Dreisteller der KIdB2010

KIdB 2010 Dreisteller	CEP	Befragte
841 Lehrtätigkeit an allgemeinbildenden Schulen	-1,114638	929
842 Lehrtätigkeit für berufsbildende Fächer, betriebliche Ausbildung und Betriebspädagogik	-1,07623433	217
844 Lehrtätigkeit an außerschulischen Bildungseinrichtungen	-0,99609913	204
843 Lehr- und Forschungstätigkeit an Hochschulen	-0,98210253	294
845 Fahr- und Sportunterricht an außerschulischen Bildungseinrichtungen	-0,86759013	48
816 Psychologie und nicht ärztliche Psychotherapie	-0,69860676	76
933 Kunsthandwerk und bildende Kunst	-0,69520886	29
831 Erziehung, Sozialarbeit, Heilerziehungspflege	-0,64731826	1020
432 IT-Systemanalyse, IT-Anwendungsberatung und IT-Vertrieb	-0,63033339	227
941 Musik-, Gesangs- und Dirigententätigkeiten	-0,59740811	33
...
117 Forst- und Jagdwirtschaft, Landschaftspflege	0,74372072	27
222 Farb- und Lacktechnik	0,7557406	20
512 Überwachung und Wartung der Verkehrsinfrastruktur	0,76041493	28
633 Gastronomie	0,77423778	171
832 Hauswirtschaft und Verbraucherberatung	0,7783114	128
234 Drucktechnik und –weiterverarbeitung, Buchbinderei	0,90308514	29
513 Lagerwirtschaft, Post und Zustellung, Güterumschlag	0,91173359	473
522 Fahrzeugführung im Eisenbahnverkehr	0,92322709	40
521 Fahrzeugführung im Straßenverkehr	0,93460294	406
541 Reinigung	1,04047504	242

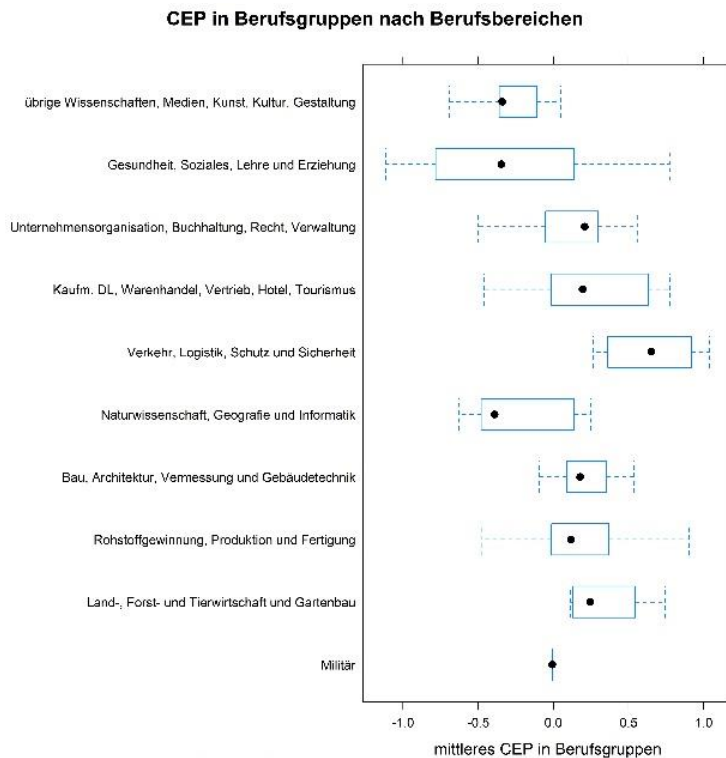
Quelle: Erwerbstätigenbefragung 2017/18, gewichtete Werte für CEP, ungewichtete für Befragte, eigene Berechnungen

Hinter diesen Mittelwerten liegen jeweils individuelle Einschätzungen, dennoch ist es interessant zu sehen, wie sie sich auf höheren Aggregationsebenen verteilen. Abbildung 3 zeigt das für die Berufsbereiche (Einsteller) als höchste Aggregationsebene der KIdB2010 mit den darin zusammengefassten Berufsgruppen (Dreistellern).

Unter den Berufsgruppen mit höheren CEP-Werten finden sich eine Reihe aus dem Berufsbereich 5 „Verkehr, Logistik, Schutz und Sicherheit“, auch aus 2 „Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung“. Der erstgenannte Berufsbereich enthält fast nur Berufsgruppen mit höheren CEP-Werten, die alle im positiven Bereich liegen. Das ist sonst nur bei dem Berufsbereich 1 „Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau“ der Fall, in dem allerdings die Extremwerte nicht so hoch liegen. Alle anderen Berufsbereiche enthalten auch Berufsgruppen mit negativen CEP-Werten und damit geringerer Ersetzbarkeit. Die zehn Dreisteller mit den niedrigsten CEP-Werten finden sich eher in dem Berufsbereich 8

„Gesundheit, Soziales, Lehre und Erziehung“ wieder. Das ist gleichzeitig der Berufsbereich mit der größten Spannweite. So wird deutlich, dass trotz nachvollziehbarer Unterschiede zwischen den Berufsbereichen einzelne Berufsgruppen abweichend hohe oder niedrige CEP-Werte aufweisen können.

Abbildung 3: CEP in Berufsgruppen



Quelle: Erwerbstätigenbefragung 2018, gewichtete Werte, eigene Berechnungen

2.2 QPE-Index: Konzept, deskriptive Ergebnisse

Neben der Perspektive der Erwerbstätigen ist es wichtig, die Sicht der Arbeitgeber zu berücksichtigen, da diese über Personalvorgänge und Technologieinvestitionen entscheiden. Um diese Sicht zu untersuchen stehen mehrere Erhebungswellen des BIBB-Qualifizierungspanels zur Verfügung, bei der überwiegend die Geschäftsführung oder bei größeren Betrieben Personen der Leitungsebene befragt werden, also Personen, die mit wichtigen Personal- und/oder Investitionsentscheidungen betraut sind.

Auch in diese Erhebung konnten Fragen einfließen, die es erlauben, Zusammenhänge zwischen dem Einsatz von Technologien und der (Um-)Gestaltung von Arbeitsplätzen zu untersuchen. Gefragt wurde unter anderem nach der Häufigkeit (Skala: 1 „Nie“ – 5 „Sehr häufig“), mit der Beschäftigte bestimmte Tätigkeiten ausüben. Dabei können die vier Dimensionen Routine/repetitiv, manuell, subjektbezogen/interaktiv und wissensintensiv/kognitiv unterschieden werden. Die Tätigkeitsangaben wurden mittels einer Hauptkomponentenanalyse zu einer Dimension „Ersetzbarkeit durch Computer“ verdichtet.

Da die Tätigkeitsmerkmale nur in den Erhebungswellen 2012, 2015 und 2016 erhoben wurden, wurde für die Jahre 2017 und 2018 eine Extrapolation der vier Tätigkeitsdimensionen anhand der zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt. Die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse werden in Tabelle 3 dargestellt. Hier zeigt sich für die jeweils erste extrahierte Komponente eine starke positive Ladung auf die Items zur Interaktivität und Kognition (geringe Ersetzbarkeit) und eine negative Ladung auf die Items zur Routine (hohe Ersetzbarkeit). Folglich lässt sich diese Komponente als Tätigkeitsprofil mit geringem Routineanteil, also mit einer geringen Ersetzungswahrscheinlichkeit durch Computer interpretieren. Für manuelle Tätigkeiten ist die Wirkungsrichtung mit einer leicht positiven Ladung in 2016 und einer Ladung nahe dem Wert 0 in 2017 und 2018 nahezu ambivalent. Einerseits sind es anspruchsvolle und komplexe Fertigkeiten (vgl. PFEIFFER/SUPHAN 2015), die sich nur schwer von Maschinen ersetzen lassen, andererseits sind bestimmte routinierte, manuelle Tätigkeiten leichter computerisierbar. Das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (KMO-Kriterium) zeigt mit Ausnahme der manuellen Tätigkeiten in 2017 und 2018 durchweg eine hervorragende Eignung der Items für ein Dimensionsreduktionsverfahren in Form einer Faktor- oder Hauptkomponentenanalyse (KAISER 1974).

Tabelle 3: Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse

Tätigkeitsdimension	Item	Komponentenladung			KMO-Kriterium		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018
Routine/ repetitiv	„Tätigkeiten, bei denen alle Einzelheiten vorgeschrieben sind“	-0,150	-0,330	-0,342	0,825	0,954	0,962
	„Tätigkeiten, bei denen sich Abläufe bis in alle Einzelheiten wiederholen“	-0,179			0,836		
manuell	„Tätigkeiten, bei denen sie Werkzeuge benutzen oder Maschinen, wie z. B. Steuerungs- oder Computeranlagen, bedienen“	0,160	0,019	0,010	0,911	0,288	0,244
	„Tätigkeiten, bei denen sie Fingerfertigkeit und handwerkliches Geschick anwenden“	0,097			0,898		
subjektbezogen/ interaktiv	„Tätigkeiten, bei denen sie Kunden oder Patienten informieren oder beraten“	0,471	0,696	0,688	0,932	0,811	0,823
	„Tätigkeiten, bei denen sie andere überzeugen und Kompromisse aushandeln“	0,503			0,929		
wissensintensiv/ kognitiv	„Tätigkeiten, bei denen sie Abläufe organisieren oder forschen“	0,504	0,637	0,640	0,934	0,810	0,822
	„Tätigkeiten, bei denen sie Verfahren und Prozesse verbessern oder neu erproben“	0,427			0,925		
	Gesamt	-	-	-	0,909	0,825	0,838

Quelle: BIBB-Qualifizierungspanel, Erhebungswellen 2012, 2015, 2016; n= 10.423; eigene Berechnung.

Anhand der durch die Analyse gewonnenen Tätigkeitsprofile, lässt sich für verschiedene Branchen der Qualifizierungspanel-Ersetzbarkeitsindex (QPE) bestimmen. Dieser errechnet sich aus der Summe der Produkte der standardisierten Item-Antworten (z) und der korrespondierenden Komponentenladungen (λ). Das Ergebnis wird abschließend mit (-1) multipliziert, um eine einfachere Interpretation zu ermöglichen. Die Gleichung lautet:

$$QPE = \sum_{i=1}^{n=8} -z_i \lambda_i^2.$$

Allerdings muss bei der Interpretation des Index darauf geachtet werden, dass es sich hierbei um das Ersetzbarkeitspotential anhand aggregierter Tätigkeitsprofile auf

² Da für die Extrapolation der Tätigkeiten in den Jahren 2017 und 2018 jeweils zwei Items zusammengefasst wurden, lautet die Gleichung für diese Jahre entsprechend $QPE = \sum_{i=1}^{n=4} -z_i \lambda_i$.

Branchenebene handelt. Diese Angaben stellen keine Wahrscheinlichkeiten dar, da wichtige Faktoren wie zum Beispiel Kosten-Nutzen-Abwägungen der Betriebe, aber auch die (soziale) Erwünschtheit einer Ersetzung menschlicher Arbeitskraft nicht miteinfließen. Die Ergebnisse sind auf Branchenebene repräsentativ. Darüber hinaus lassen sich jedoch keine Aussagen für einzelne Berufe treffen, da die in einer Branche vertretenen Berufe nur im Aggregat abgebildet werden, was zu einer Vermischung berufsspezifischer Effekte führt.

In Tabelle 4 wird der QPE in den Jahren 2016, 2017 und 2018 für 45 Wirtschaftszweige dargestellt. Ein höherer Wert bedeutet ein höheres Ersetzungspotential für berufliche Tätigkeiten innerhalb dieses Wirtschaftszweigs. Es lassen sich einerseits Wirtschaftszweige mit einem relativ konstanten, also durchgängig geringem (z. B. „Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen“) oder durchgängig hohem Ersetzungspotential (z. B. „Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften“) beobachten. Im Umgang mit Maschinen ist das menschliche Eingreifen bei Störfällen nach wie vor unerlässlich. Tätigkeiten, die Rahmen von Leiharbeit ausgeübt werden, besitzen dagegen häufig ein hohes Ersetzungspotential. Andererseits gibt es für bestimmte Wirtschaftszweige in dem Dreijahreszeitraum eine Dynamik sowohl von einem geringen zu einem hohen Ersetzungspotential („Forschung und Entwicklung“) als auch von einem hohen zu einem geringen Ersetzungspotential (z. B. „Beherbergung und Gastronomie“). In der Forschung sind aufgrund von neuronalen Netzen und der Möglichkeit zur Auswertung großer Datenmengen, insbesondere Recherche und Datenanalyse zunehmend computerisierbar. In der Hotel- und Gastronomiebranche hingegen wurde ein Großteil der Automatisierung bereits realisiert (z. B. Bestell- und Buchungssysteme), sodass für die verbleibenden Tätigkeiten, bei denen der persönliche Kontakt im Vordergrund steht, das Ersetzungspotential geringer wird.

Tabelle 4: Der QP-Ersetzbarkeitsindex nach Wirtschaftszweigen

Wirtschaftszweig	QPE		
	2016	2017	2018
1. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	0,3290	0,5566	0,5225
2. Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden*	0,2452	-0,3572	-0,3806
3. Energie- und Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen	0,0252	0,5870	0,6017
4. Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln	0,4369	0,0731	0,0533
5. Herstellung von Textilien, Bekleidung, Lederwaren und Schuhen	-0,5276	-0,3632	-0,3343
6. Herstellung von Holzwaren, Papier, Pappe und Druckerzeugnissen	0,1359	-0,1706	-0,1693
7. Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen, Kokerei und Mineralölverarbeitung	-0,4792	-0,1905	-0,1905
8. Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,3992	-0,4995	-0,5347
9. Herstellung von Glas und Keramik; Verarbeitung von Steinen und Erden	-0,2645	0,0477	0,0563
10. Metallherzeugung und -bearbeitung	1,0399	-0,1586	-0,2487
11. Herstellung von Metallerzeugnissen, Stahl- und Leichtmetallbau	0,3450	0,2270	0,2664
12. Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	-0,5186	-0,4119	-0,4281
13. Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	-0,6899	-0,1187	-0,0357
14. Maschinenbau	-0,3155	0,0921	0,1337
15. Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, sonstiger Fahrzeugbau	0,2781	-0,1641	-0,1796
16. Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren (z.B. Schmuck, Sportgeräte, Spiel- waren, medizinische Apparate/Materialien)	0,1107	-0,0410	-0,0303
17. Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	-0,7093	-0,7840	-0,7433
18. Hoch- und Tiefbau	0,1508	-0,0291	-0,0139
19. Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bau- installation, sonstiges Ausbaugewerbe	0,0706	-0,2936	-0,3147
20. Kraftfahrzeughandel und -reparatur	-0,1190	0,1024	0,1306
21. Großhandel und Handelsvermittlung	-0,0760	-0,6581	-0,6435
22. Einzelhandel, Tankstellen	0,1702	-0,3139	-0,2925
23. Verkehr und Lagerei auch Parkhäuser, Bahnhöfe, Frachtumschlag, Post-, Kurier- und Expressdienste	0,6584	-0,1119	-0,1527
24. Information und Kommunikation Verlagswesen; Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen; Rundfunkveranstalter; Telekommunikation und Informationsdienstleistungen	-0,4049	-0,7957	-0,7679
25. Beherbergung und Gastronomie	0,6200	-0,4913	-0,5519
26. Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	-0,1480	-0,4886	-0,4847
27. Grundstücks- und Wohnungswesen	0,1428	-0,6790	-0,7069
28. Rechts- und Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung	-0,0488	-0,1577	-0,1815
29. Verwaltung und Führung von Unternehmen und Betrieben; Unternehmensberatung	-0,2755	0,1225	0,1867
30. Architektur- und Ingenieurbüros; technische, physikalische und chemische Untersuchung	-0,1211	0,0249	0,0535
31. Forschung und Entwicklung	-0,2749	0,8385	0,8090
32. Werbung und Marktforschung, Design, Fotografie, Übersetzung	-0,6706	-0,6906	-0,7285
33. Veterinärwesen*	-0,1440	-1,1186	-1,0324
34. Vermietung von beweglichen Sachen*	0,1094	-0,7270	-0,7640
35. Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	0,8105	0,4302	0,4531
36. Reisegewerbe, Wach- und Sicherheitsdienste, Garten- und Landschaftsbau, sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen	0,2587	-0,2719	-0,2613
37. Erziehung und Unterricht	-0,4729	-0,6774	-0,6751
38. Krankenhäuser und Kliniken	-0,5415	-0,1489	-0,1182
39. Arztpraxen, Krankengymnastik-, Heilpraktikerpraxen	-0,2419	-0,3615	-0,3622
40. Heime, ambulante soziale Dienste	-0,6541	-0,7401	-0,7325
41. Kunst, Unterhaltung, Erholung, Sport, Lotterie	0,3092	-0,5042	-0,4798
42. Reparatur von Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern*	-0,4443	.	.
43. Sonstige, überwiegend persönliche Dienstleistungen (z.B. Wäscherei, Friseur, Sauna)	-0,4595	-0,4852	-0,4742
44. Interessenvertretungen, Verbände, kirchliche und sonstige religiöse Vereinigungen	0,0878	-0,1119	-0,1475
45. Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	0,1600	0,4531	0,4696

*n < 30

Quelle: BIBB-Qualifizierungspanel, Erhebungswellen 2012, 2015, 2016; n= 10.423; eigene Berechnung.

2.3 Unterschiede der Ergebnisse der beiden Indizes

Die vorgestellten Indizes haben unterschiedliche Perspektiven. Im einen Fall wurden Informationen von individuellen Erwerbstätigen zusammengefasst, im anderen Fall Informationen von Betrieben. Dennoch sind beide Indizes so gebildet worden, dass eine Vergleichbarkeit angelegt ist. Die Routine-, die kognitive, die manuelle und die Interaktionsdimension des QPE enthalten Fragen, die vergleichbar sind mit denen, die für die Bildung des CEP-Index genutzt wurden. Durch die unterschiedlichen Zielgruppen und Stichproben kann hier keine vollständige Kongruenz erreicht werden. Aber es gibt die Möglichkeit, beide Maße auf derselben Aggregatebene zu vergleichen. Dafür werden die Angaben zum QPE für Wirtschaftszweige mit denen des CEP für Wirtschaftszweige verglichen.

Eine Vergleichsebene bieten hierbei die Wirtschaftszweige, die für das Qualifizierungspanel und die Erwerbstätigenbefragung gleich abgebildet werden können. In dieser Zusammenfassung nach 45 Branchen kann man dann die beiden aggregierten Ersetzungsmaße einander gegenüberstellen und ihre Korrelation beschreiben. Über alle 45 Branchen (wobei die Branche „Reparatur von Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern“ wegen zu geringer Fallzahlen herausgenommen wurde) zeigt sich eine Korrelation von +0,11 (mit einem p-Wert von 0,49).

Dabei müssen allerdings methodische Unterschiede bedacht werden. Die Aggregation auf der Ebene von Branchen birgt hier schon die erste Möglichkeit, verdeckte Unterschiede in den Daten zu tragen. Erwerbstätigen fällt es gewöhnlich schwerer, die Branche des Betriebes, in dem sie arbeiten, genau zu bezeichnen. Hier sind die Angaben aus dem Qualifizierungspanel sicherlich reliabler als die aus der Erwerbstätigenbefragung. Eine weitere mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Einschätzungen der Ersetzungspotentiale und ihrer Richtung zwischen Betrieben und Beschäftigten liegt in der jeweiligen Wahrnehmung der Arbeitsaufgaben, die sich auch nach der Größe der Betriebe unterscheiden kann. Abbildung 4 zeigt diesen Zusammenhang. Dabei sind die Korrelationen -0,10 für Betriebe bis neun Beschäftigte, +0,21 für Betriebe bis zu 49 Beschäftigte und -0,24 für Betriebe mit mehr als 49 Beschäftigten (sie sind allerdings nicht signifikant mit p-Werten von 0,33 bis 0,77).

In kleinen Betrieben bis zu neun Beschäftigten würde die oder der für den Betrieb Verantwortliche die Aufgaben der einzelnen Beschäftigten als eher offen einschätzen, eher in Richtung eines „Hier muss jeder alles machen oder können“. Gleichzeitig werden die Beschäftigten selbst aber nur den Teil ihrer Aufgaben wahrnehmen, der sie von den anderen abgrenzt. Das sind die Aufgabenteile, in deren Bearbeitung sie Erfahrung haben. Zwar sehen die Betriebsverantwortlichen, dass eher unterschiedliche Aufgaben übernommen

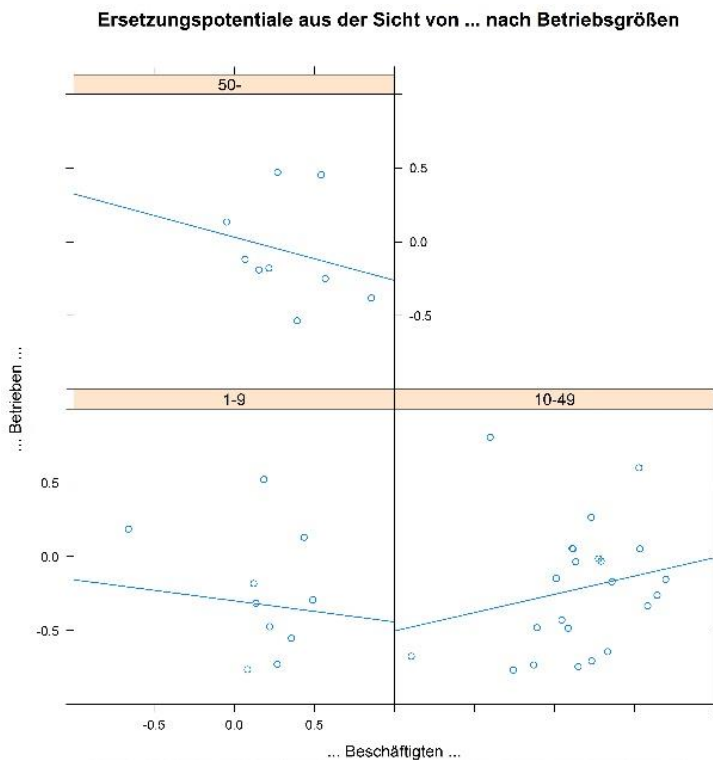
werden, aber aus Sicht der Beschäftigten ist das etwas, das jeder macht, was diese Aufgaben zu „normalen“ Aufgaben macht, die nicht genutzt werden können, um sich herauszustellen und die dann eher noch als Regelfall aufgenommen werden. Insofern ist hier eine negativere Einschätzung im Sinne von höherer Ersetzbarkeit durchaus nachvollziehbar.

Ähnlich kann man für Großbetriebe argumentieren, in denen Spezialisierungen auf bestimmte Arbeitsaufgaben die Regel sind und aus Sicht der Erwerbstätigen die Arbeit mitdefinieren, während Personalverantwortliche hier eher sagen würden (oder müssen), dass natürlich eine gewisse Offenheit der Aufgaben besteht, damit Abteilungswechsel und dergleichen erklärbar werden.

Die Perspektiven fallen dann bei Betrieben mittlerer Größen (10 bis unter 50 Beschäftigte) wieder zusammen, da hier auch auf der Ebene der Beschäftigten ein Bewusstsein dafür vorhanden ist, dass unterschiedliche Arbeitsaufgaben übernommen werden können und müssen.

Diese Beobachtungen decken sich mit dem Konzept von „Erfahrungswissen“, das auch als implizites Wissen gesehen werden kann (vgl. TIEMANN 2015). „Durch Erfahrungen erwirbt man sich demnach Routine und Können, „wie“ etwas gemacht wird“ (BÖHLE u. a. 2004, S.102). Tatsächlich erlebt man also die Bearbeitung von Arbeitsaufgaben als routinehaft, während dies von außen nicht so wahrgenommen wird, also entsprechend einem höheren CEP-Wert bei niedrigerem QPE-Wert.

Abbildung 4: Ersetzungspotentiale im Vergleich und Betriebsgrößen



Quelle: BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 und BIBB-Qualifizierungspanel 2018, Punkte zeigen Branchen nach dem Qualifizierungspanel

Trotz dieser Unterschiede können die Daten genutzt werden, um in einer Matrix von Berufen und Branchen für die Fälle, in denen wir keine Angaben nach Berufen haben, diese aus der Betriebsbefragung zu imputieren.

2.4 Ergänzung des CEP durch Informationen von QPE

Im Folgenden schlagen wir einen neuen Index des Ersetzungspotenzials vor, der basierend auf dem CEP einen leicht interpretierbaren Kennwert darstellt. Allerdings kann bei einer Fallzahl von etwa 20.000 Befragten das CEP nicht für jeden Beruf in jeder Branche valide berechnet werden. Deswegen beschreiben wir im Folgenden ebenfalls, wie das QPE als Ergänzung des CEP bei fehlenden Werten oder zu kleinen Fallzahlen herangezogen werden kann, um auch in diesen Fällen Informationen über das Ersetzungspotenzial zu erhalten. Um das Vorgehen zu veranschaulichen, imputieren wir alle fehlenden Werte einer Matrix der 144 Berufsgruppen der Klassifizierung der Berufe (KIdB) 2010 und 63 zusammengefassten Wirtschaftsabteilungen der Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008. Der Detailgrad ist jedoch nur insoweit wichtig, dass die Menge der vorhandenen validen Informationen auf Basis der ETB in einem adäquaten Verhältnis zu den zu imputierenden Werten stehen muss, um verlässliche Ergebnisse zu erhalten.

Im ersten Schritt wird für alle Befragten ermittelt, ob ihr CEP-Wert zu den oberen 30 Prozent gehört. Zugehörige zu dieser Gruppe werden als Personen mit einem hohen Ersetzbarkeitspotenzial eingestuft. Dann kann ein Durchschnitt über den Anteil der Beschäftigten mit hohem Ersetzungspotenzial in den einzelnen Zellen der Matrix sowie ihrer Randsummen nach 144 Berufsgruppen und 63 Branchen ermittelt werden. Dieser Anteilswert kann folglich Werte zwischen 0 (geringes Gesamtersetzungspotenzial) und 1 (sehr hohes Gesamtersetzungspotenzial) erreichen und ist nun leicht interpretierbar und mit anderen Maßen des Ersetzbarkeitspotenzials vergleichbar. Es ist aber zu beachten, dass anders als bei DENGLER und MATTHES (2015) die Extremwerte des Indexes nicht als keine bzw. komplette Ersetzung interpretiert werden können. Da sie sich an der Verteilung der Potenziale in der Beschäftigung orientieren, gibt der Index Auskunft über zu anderen Berufsgruppen vergleichsweise hohe Ersetzungspotenziale.

Werte, die auf einer Fallzahl von weniger als 20 Personen beruhen, werden als invalide definiert und wie ein fehlender Wert behandelt. Dies ist der Fall für die Randsummen von 35 der 144 Berufsgruppen und 6 der 63 Branchen. Für diese Fälle wird nun das QPE für das Berichtsjahr 2018 herangezogen. Hierfür wird zunächst gewichtet nach den Beschäftigtenzahlen des Mikrozensus in 2015 das mittlere QPE für die Berufsgruppen ermittelt. Hierauf basierend kann dann für die Berufsgruppenanteile der Personen mit hohem Ersetzbarkeitspotenzial mittels einer einfachen Regressionsanalyse ohne weitere Kontrollvariablen bestimmt werden, wie hoch er mit dem mittleren QPE-Wert assoziiert ist. Die hierbei ermittelten Koeffizienten der Konstante und des QPE-Wertes sind signifikant unterschiedlich von 0 mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von fünf Prozent.³ Auch für fehlende Werte in einzelnen Berufsgruppen-Branchen-Zellen wird hierüber ein Wert ermittelt, der jedoch nur als Startwert dient. Diese werden dann iterativ wechselweise an den Branchenmittelwert bzw. den Berufsgruppenmittelwert des Anteils der Personen mit hohem Ersetzungspotenzialen angepasst. Hierbei werden die Werte fehlender oder zu klein besetzter Gruppen über die Iterationen stets proportional angeglichen, sodass die Differenz zwischen der aus den Zellen berechneten Randsummen, die diese neu berechneten Werte nutzen, und der vorab bestimmten Randsummen gegen 0 konvergieren. Der Wertebereich zwischen 0 und 1 wird dabei eingehalten. Der durchschnittliche Wert des Ersetzungsindex für diese Kombinationen aus Berufen und Branchen liegt bei 26,53 Prozent.

³ Die Spezifikation ist natürlich viel zu einfach, um den QPE-Wert als erklärende Variable des Anteils der Personen mit hohem Ersetzungspotenzial zu interpretieren. Zwar ist der F-Test signifikant mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von fünf Prozent, aber das R^2 ist sehr gering. Für unsere Zwecke reicht eine einfache statistische Assoziation der beiden Indizes jedoch aus, um Schätzer der fehlenden Randsummen aus den beiden Koeffizienten zu errechnen.

Tabelle 5: Durchschnittlicher Anteil an Beschäftigten mit hoher Ersetzbarkeit in 20 Branchen (in %)

Branche	durchschnittliche Ersetzbarkeit
Landwirtschaft/Bergbau	26,8 %
Energie- und Wasserversorgung; Entsorgung	29,4 %
Herstellung sonstige Güter	41,4 %
Chemie/Pharmazie	35,0 %
Metall/Elektrogewerbe	29,9 %
Maschinen-/Automobilbau	22,7 %
Bauwirtschaft	26,4 %
Kraftfahrzeughandel, -reparatur, Großhandel	34,5 %
Einzelhandel, Tankstellen	45,8 %
Verkehr, Lagerei, Post	51,8 %
Information und Kommunikation Verlagswesen	19,2 %
Beherbergung und Gastronomie	38,9 %
Finanz-, rechts-, wohnungswirtschaftliche Dienstl.	28,3 %
Forschung und Entwicklung	18,3 %
Sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen	41,0 %
Erziehung und Unterricht	7,2 %
Medizinische Dienstleistungen	23,9 %
Pflegerische Dienstleistungen	22,1 %
Sonstige persönliche Dienstleistungen	29,8 %
Kollektive Dienstleistungen	32,4 %

Quelle: Erwerbstätigenbefragung 2017/18, eigene Berechnungen.

Mittels dieser Berechnungsweise lässt sich der Index auch für fehlende Gruppen vervollständigen. Die mittleren Ergebnisse für die 37 Berufshauptgruppen und 20 weiterzusammengefasste Branchen sind den Tabellen Tabelle 5 bzw. Tabelle 6 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass ein besonders hoher Anteil der Beschäftigten in den Branchen „Verkehr, Lagerei, Post“ mit 51,8 Prozent und „Einzelhandel, Tankstellen“ mit 45,8 Prozent hohe Werte der Ersetzbarkeit aufweisen. Der mit Abstand geringste Anteil hoch ersetzbarer Beschäftigte ist mit nur 7,2 Prozent in der Branche „Erziehung und Unterricht“ vertreten. Mit 70,7 Prozent hoch ersetzbarer Beschäftigten, könnten die Reinigungsberufe durch Ersetzung am meisten betroffen sein. Als klassische Berufe der Logistikbranche weisen auch Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten mit 60,9 Prozent und Verkehrs- und Logistikberufe mit 57,9 Prozent hohe Anteilswerte auf. Analog zur Tabelle 5 zeigt auch Tabelle 6, dass Lehrende und ausbildende Berufe mit nur einem Prozent Anteil an hoch ersetzbaren Beschäftigten besonders selten von Ersetzbarkeit betroffen sein könnten. Auch Berufe der Berufsgruppe „Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie“ wären mit 11,8 Prozent Tabelle 6 zu Folge eher gering betroffen. Medizinische Gesundheitsberufe haben hiernach einen leicht höheren Anteilswert als die sozialen und

lehrenden Berufe. Die Gruppe der Informatik-, Informations- und Kommunikationstechnologieberufe weisen mit 9,3 Prozent ebenso einen geringen Anteilswert auf.

Tabelle 6: Durchschnittlicher Anteil an Beschäftigten mit hoher Ersetzbarkeit in 37 Berufsgruppen (in %)

Berufsgruppe nach KldB 2010	durchschnittliche Ersetzbarkeit
Angehörige der regulären Streitkräfte	22,5 %
Land-, Tier- und Forstwirtschaftsberufe	25,7 %
Gartenbauberufe und Floristik	33,4 %
Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, Glas- und Keramikherstellung und -verarbeitung	31,5 %
Kunststoffherstellung und -verarbeitung, Holzbe- und -verarbeitung	34,2 %
Papier- und Druckberufe, technische Mediengestaltung	25,5 %
Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe	29,0 %
Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe	23,7 %
Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe	22,7 %
Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe	20,6 %
Textil- und Lederberufe	34,8 %
Lebensmittelherstellung und -verarbeitung	39,8 %
Bauplanungs-, Architektur- und Vermessungsberufe	25,1 %
Hoch- und Tiefbauberufe	25,6 %
(Innen-)Ausbauberufe	21,3 %
Gebäude- und versorgungstechnische Berufe	21,8 %
Mathematik-, Biologie-, Chemie- und Physikberufe	31,4 %
Geologie-, Geografie- und Umweltschutzberufe	28,0 %
Informatik-, Informations- und Kommunikationstechnologieberufe	9,3 %
Verkehrs- und Logistikberufe (außer Fahrzeugführung)	57,9 %
Führer/innen von Fahrzeug- und Transportgeräten	60,9 %
Schutz-, Sicherheits- und Überwachungsberufe	32,5 %
Reinigungsberufe	70,7 %
Einkaufs-, Vertriebs- und Handelsberufe	28,7 %
Verkaufsberufe	47,8 %
Tourismus-, Hotel- und Gaststättenberufe	40,5 %
Berufe in Unternehmensführung und -organisation	32,7 %
Berufe in Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung	30,2 %
Berufe in Recht und Verwaltung	35,4 %
Medizinische Gesundheitsberufe	19,4 %
Nichtmedizinische Gesundheits-, Körperpflege- und Wellnessberufe, Medizintechnik	23,5 %
Erziehung, soziale und hauswirtschaftliche Berufe, Theologie	11,8 %
Lehrende und ausbildende Berufe	1,0 %
Sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe	28,0 %
Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe	28,6 %
Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau	26,1 %
Darstellende und unterhaltende Berufe	22,3 %

Quelle: Erwerbstätigenbefragung 2017/18, eigene Berechnungen.

3. Ausschöpfung von Automatisierungspotenzialen in Branchen

Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Indizes beschäftigen sich mit dem Automatisierungspotenzial der im Beruf ausgeübten Tätigkeiten. Inwieweit dieses Potential auch tatsächlich ausgeschöpft wird, hängt jedoch nicht nur von den technischen Möglichkeiten und der Natur der zu verrichtenden Tätigkeiten ab. Juristische, gesellschaftlichen und wirtschaftliche Abwägungen können Betriebe in ihrer Entscheidung in digitale Technologien zu investieren, die menschliche Arbeitskraft ersetzen, beeinflussen (siehe z.B. auch BONIN u. a. 2015). Juristische Hemmnisse zur Einführung neuer digitaler Technologien könnten in Datenschutzbestimmungen liegen (vgl. BAUERNHANSEL u. a. 2014, S.633 ff.) oder in einer unzureichenden Klärung der Haftung besonders in internationalen Firmennetzwerken (vgl. BAUERNHANSEL u. a. 2014; ARNTZ u. a. 2016a).

Gesellschaftlich könnte die Ausschöpfung der Potenziale als nicht erstrebenswert gesehen werden. So könnten in einigen Berufen mit traditionell hoher Gewerkschaftsmitgliedschaft die Einführung ersetzender Technologien etwa bewusst verhindert werden. Hierzu gibt es allerdings noch keine Anhaltspunkte aus der empirischen Forschung. Studien aus den USA und UK weisen auf einen negativen Zusammenhang zwischen Gewerkschaftsdichte und Innovationspolitik der Firmen hin (vgl. z. B. HIRSCH 1992; MENEZES-FILHO/ULPH/VAN REENEN 1998). Auf Basis deutscher Betriebsdaten können KRAFT, STANK und DEWENTER (2009) jedoch keine Anhaltspunkte für diesen Zusammenhang bei deutschen Betrieben finden. Eine neuere Studie von BELLMANN u.a. (2014) bestätigt dies auch für Betriebsräte. Ein weiteres gesellschaftliches Hemmnis könnte die Präferenz der Kunden darstellen, die menschliche Arbeit z. B. im Sinne des handwerklichen Geschicks (BAUMOL 1967) oder wegen der sozialen Interaktion etwa in der Pflege (PRATT 2015) wertschätzen.

In der wirtschaftlichen Betrachtung muss die Investition in neue, Arbeitskraft ersetzende Maschinen kosteneffektiv sein. So werden Betriebe z. B. eher in Technologien investieren, die die reichlich vorhandenen Fähigkeiten von Arbeitskräften komplementieren und die knappen ersetzen können (vgl. AUTOR/LEVY/MURNANE 2003; ACEMOGLU/AUTOR 2011). GRAETZ und FENG (2015) finden weiterhin Anhaltspunkte dafür, dass Betriebe stärker in Technologien investieren, die Tätigkeiten ersetzen, die eine lange Anlernzeit benötigen. Dies könnte dafür sprechen, dass für Berufe mit vorwiegend einfachen Tätigkeiten das Ersetzbarkeitspotenzial weniger stark ausgeschöpft würde und Lohnsteigerungen für mehr komplexe Tätigkeiten zu beobachten sind. Ebenso müssen allerdings auch ausreichend viele Arbeitskräfte vorhanden sein, die den effektiven Einsatz der neuen Technologien gewährleisten können, wie es JANSSEN und MOHRENWEISER (2015) für die verzögerte Einführung der CNC-Maschine nachzeichnen. In diesem Zusammenhang können neue Technologien weiterhin die Komplexität der Tätigkeiten der menschlichen Arbeitskräfte

erhöhen und somit Druck auf die Löhne erzeugen (vgl. WOLTER u. a. 2016). Schließlich muss ebenso miteinberechnet werden, dass die Arbeitslosigkeit ersetzter Arbeitnehmer das Einkommen der Konsumenten senken könnten, was bei unzureichender Umverteilung zu einem geringeren Absatz führen würde (vgl. BENZELL u. a. 2015; SACHS u. a. 2015).

Insgesamt gibt es also mehrere Gründe, neue digitale Technologien nicht einzuführen, obwohl sie menschliche Tätigkeiten potenziell ersetzen können. Daher sollten sich diese Gründe in den Investitionen und dem Digitalisierungsstand der Betriebe widerspiegeln. Insofern ist eben hier die bereits vollzogene Ausschöpfung von Ersetzbarkeitspotenzialen von Betrieben zu beobachten. Dabei gehen wir davon aus, dass Betriebe, die ihre Investitionen in digitale Technologien und ihren Digitalisierungsstand im Allgemeinen als hoch erachten, bereits ihre Potenziale als vergleichsweise ausgeschöpft ansehen. Betriebe mit einem geringen Digitalisierungsstand haben demzufolge in Zukunft mehr Möglichkeiten, bestehende Potenziale noch auszuschöpfen.

Je nach Branche, zeichnen sich hier unterschiedliche Muster ab. Mit diesen branchenspezifischen Unterschieden haben sich in Deutschland mehrere Studien beschäftigt, wobei die meisten sich auf Schätzungen von Experten und Expertinnen beziehen (vgl. WISCHMANN u. a. 2015). Zwei quantitative Erhebungen möchten wir an dieser Stelle nennen. So kommen aktuelle Ergebnisse aus dem jährlich erhobenen Wirtschaft Digital Index (WEBER u. a. 2018) zu dem Schluss, dass Dienstleistungsunternehmen, insbesondere in den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Finanz- und Versicherungsdienstleistungen bei der Digitalisierung die Nase vorn haben. Digitalisierungsschlusslicht ist das Gesundheitswesen. Weiterhin beobachten ARNTZ u. a. (2018) einen hohen Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad in der Öffentlichen Verwaltung, der Chemiebranche sowie im Bereich der unternehmensnahen Dienstleistungen. Bislang nur wenig digitalisierte Branchen sind laut dieser Studie das Baugewerbe, das Gastgewerbe und die Landwirtschaft.

Im Folgenden möchten wir die Literatur an dieser Stelle erweitern und auf Basis des BIBB-Qualifizierungspanels und einer kleineren Expertenbefragung vier verschiedene Indizes vorschlagen, die sich der Erfassung des Ausschöpfungsgrads auf verschiedene Weise nähern. Im darauffolgenden Abschnitt werden diese gegenübergestellt und über ihre gemeinsame Aussage bezüglich des Ausschöpfungsgrads von Ersetzungspotenzialen abstrahiert.

3.1 QP-Digitalisierungsgrad 4.0

In den Erhebungen des BIBB-Qualifizierungspanels werden Betriebe gefragt, welche digitalen Technologien sie für ihre Geschäftstätigkeit nutzen. Hieraus wurde ein Digitalisierungsindex entwickelt, der das jeweilige Digitalisierungsniveau eines Betriebs angibt (WELLER et al. 2018). Aufbauend auf diesem Index werden vier Technologien herausgegriffen, anhand derer sich Entwicklungen ableiten lassen, die häufig mit Industrie 4.0 in Verbindung gebracht werden. Der daraus resultierende, betriebliche Digitalisierungsgrad 4.0 errechnet sich dabei aus der Summe der folgenden, im Betrieb genutzten Technologien:

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

Tabelle 7: Der QP-Digitalisierungsgrad 4.0 nach Wirtschaftszweigen

	Wirtschaftszweig	Digitalisierungsgrad 4.0 (0: keine Digitalisierung - 4: hohe Digitalisierung)
1	Landwirtschaft/Bergbau	1,2
2	Energie- und Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen	1,9
3	Herstellung sonstige Güter	1,4
4	Chemie/Pharmazie	1,6
5	Metal/Elektrogewerbe	1,8
6	Maschinen-/Automobilbau	2,4
7	Bauwirtschaft	1,1
8	Kraftfahrzeughandel, -reparatur, Großhandel	1,8
9	Einzelhandel, Tankstellen	1,6
10	Verkehr, Lagerei auch Parkhäuser, Bahnhöfe, Frachtumschlag, Post,-Kurier- und Expressdienste	1,3
11	Information und Kommunikation; Verlagswesen; Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen; Rundfunkveranstalter; Telekommunikation Informationstechnologische Dienstleistungen und Informationsdienstleistungen	2,4
12	Beherbergung und Gastronomie	1,5
13	Finanz-, rechts- und wohnungswirtschaftliche Dienstleistungen	1,6
14	Forschung und Entwicklung	2,2
15	Sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen	1,4
16	Erziehung und Unterricht	1,4
17	Medizinische Dienstleistungen	1,6
18	Pflegerische Dienstleistungen	1,5
19	Sonstige, überwiegend persönliche Dienstleistungen (z. B. Wäscherei, Friseur, Sauna)	1,2
20	Kollektive Dienstleistungen	1,5
	Gesamt	1,5

Quelle: BIBB-Qualifizierungspanel, Erhebungswelle 2016; n= 7.122, eigene Berechnung.

Tabelle 7 zeigt den Digitalisierungsgrad 4.0 für verschiedene Wirtschaftszweige. Demnach kommen 4.0-Technologien am häufigsten im Maschinen-/Automobilbau und im Bereich Information und Kommunikation zum Einsatz. Die geringste Rolle spielen sie in der Bauwirtschaft.

3.2 QP Anteil digitaler Technologien an Investitionen

In der 2016er Erhebung des BIBB-Qualifizierungspanels wurde auch erhoben, welchen Anteil digitale Technologien an den betrieblichen Investitionen haben und ob dieser Anteil in den vorherigen Jahren angestiegen ist. Aus den Ergebnissen, die in Tabelle 8 dargestellt werden, lässt sich ableiten, welchen Stellenwert die Digitalisierung in den verschiedenen Branchen hat. So weisen zum Beispiel die Branchen „Forschung und Entwicklung“ und „Information und Kommunikation“ bereits einen hohen Digitalisierungsgrad auf, investieren aber weiterhin viel in die Digitalisierung, wohingegen in der Bauwirtschaft das Gegenteil der Fall ist.

Tabelle 8: Anteil der Investitionen in digitale Technologien nach Wirtschaftszweigen

	Wirtschaftszweig	Anteil der Investitionen in digitale Technologien (in %)	Anteil der Betriebe mit einem Anstieg der Investitionen in digitale Technologien (in %)
1	Landwirtschaft/Bergbau	10,2	45,8
2	Energie- und Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen	30,2	63,2
3	Herstellung sonstige Güter	28,9	47,6
4	Chemie/Pharmazie	25,5	68,9
5	Metall/Elektrogewerbe	32,4	49,3
6	Maschinen-/Automobilbau	32,2	38,7
7	Bauwirtschaft	17,1	28,3
8	Kraftfahrzeughandel, -reparatur, Großhandel	29,5	50,2
9	Einzelhandel, Tankstellen	26,0	51,7
10	Verkehr, Lagerei auch Parkhäuser, Bahnhöfe, Frachtumschlag, Post-,Kurier- und Expressdienste	14,7	54,3
11	Information und Kommunikation; Verlagswesen; Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen; Rundfunkveranstalter; Telekommunikation Informationstechnologische Dienstleistungen und Informationsdienstleistungen	54,7	47,4
12	Beherbergung und Gastronomie	13,4	43,1
13	Finanz-, rechts- und wohnungswirtschaftliche Dienstleistungen	41,2	47,6
14	Forschung und Entwicklung	49,1	49,9
15	Sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen	29,8	44,2
16	Erziehung und Unterricht	21,8	57,1
17	Medizinische Dienstleistungen	24,1	40,1
18	Pflegerische Dienstleistungen	21,1	47,3
19	Sonstige, überwiegend persönliche Dienstleistungen (z. B. Wäscherei, Friseur, Sauna)	18,7	51,0
20	Kollektive Dienstleistungen	26,8	52,8
	Gesamt	26,6	45,9

Quelle: BIBB-Qualifizierungspanel, Erhebungswelle 2016; n= 7.069, eigene Berechnung.

3.3 Digitalisierungsgrad der Arbeitsmittel in 10 Jahren

Eine weitere Perspektive wurde durch eine Experten-Studie eingeholt, die das Ziel verfolgt, den gängigen Arbeitsmitteln bestimmter Branchen einen Automatisierungs-Grad zuzuordnen.

Diese Studie, die als Online-Befragung mit vorher identifizierten Betriebsvertretern verschiedener Branchen durchgeführt wurde, soll dazu dienen zukünftige Entwicklungen, Trends und technologische Entwicklungen etc. einzuschätzen. Die Betriebsvertreter waren hier vor allem in ihrer Rolle als Führungskraft mit Überblick über die in ihrem Arbeitsumfeld genutzten Arbeitsmittel und durchgeführten Tätigkeiten gefragt. Um eine Einschätzung der zukünftigen Entwicklung zu erhalten wurden die Befragten zu dem Einsatz dieser Arbeitsmittel zu zwei Zeitpunkten gefragt.

Abbildung 5: Darstellung der relevanten Fragen für die Berechnung des Automatisierungs-Indexes.

<p>Frage 1</p> <p>Welche dieser Tätigkeiten wird mit dem Arbeitsmittel XY¹ ausgeführt?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gewinnen von Rohstoffen, Herstellen - Maschinen und Anlagen steuern - Reparieren und Instandsetzen - Handeln und Verkaufen - Bürotätigkeiten - Programmieren - Allgemeine Dienstleistungen - Forschen und Entwickeln - Organisieren und Management - Sichern, Recht anwenden - Pflegen, Behandeln, Ausbilden, Informieren² 	
<p>Frage 2</p> <p>Wie wird diese Tätigkeit mit Arbeitsmittel XY heute ausgeführt?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausschließlich durch MitarbeiterInnen - Durch MitarbeiterInnen mit Computerunterstützung - Durch Computer/ Maschinen mit Überwachung durch MitarbeiterInnen - Ausschließlich computergesteuert/ durch Maschinen 	<p>Frage 3</p> <p>Wie wird diese Tätigkeit mit Arbeitsmittel XY in 10 Jahren ausgeführt?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausschließlich durch MitarbeiterInnen - Durch MitarbeiterInnen mit Computerunterstützung - Durch Computer/ Maschinen mit Überwachung durch MitarbeiterInnen - Ausschließlich computergesteuert/ durch Maschinen

¹ Es wurden für jede Branche die TOP 10 Arbeitsmittel aus der Stellenanzeigen-Datenbank des BIBB ermittelt und in verschiedenen Fragen der Befragung zugespielt. Diese Fragen wurden für jedes dieser Arbeitsmittel (sofern sie im jeweiligen Betrieb vorhanden waren) gestellt.

² Jede dieser Tätigkeitsgruppe wurde in der Befragung zum besseren Verständnis mit Beispielen hinterlegt
Quelle: eigene Darstellung.

Insgesamt wurden 456 Einschätzungen abgegeben, die Streuung auf die verschiedenen Branchen (vgl. Tabelle 9) sowie Filterführung etc. führen zu teilweise geringen Fallzahlen. Dies gilt es bei den weiteren Ausführungen zu berücksichtigen.

Tabelle 9: Anzahl der durchgeführten Befragungen nach Branchen.

Branche	n
01 Land-, Forstwirtschaft & Fischerei	6
02 Bergbau & Gewinnung von Steinen und Erden	1
03 verarbeitendes Gewerbe	56
04 Energieversorgung	2
05 Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung & Beseitigung von Umweltverschmutzungen	1
06 Baugewerbe	25
07 Handel; Instandhaltung & Reparatur von Kraftfahrzeugen	60
08 Verkehr & Lagerei	15
09 Gastgewerbe	20
10 Information und Kommunikation	28
11 Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	10
12 Grundstücks- und Wohnungswesen	10
13 Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen	55
14 Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen	25
15 Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	14
16 Erziehung und Unterricht	29
17 Gesundheits- und Sozialwesen	57
18 Kunst, Unterhaltung und Erholung	8
19 sonstige Dienstleistungen	34
Gesamt	456

Quelle: BIBB Online-Expertenbefragung 2018, eigene Berechnungen.

Um einen Index zu erzeugen, der aus den oben dargestellten Fragen abgeleitet wird und der den Branchen einen Grad der Automatisierung zuordnet, wurden zunächst die Mittelwerte zu Frage 2 und Frage 3 über alle Tätigkeiten und alle Arbeitsmittel für die jeweiligen Branchen ermittelt (vgl. Tabelle 10). Da ein Befragter zu mehreren Arbeitsmitteln (insgesamt maximal 10) und mehreren Tätigkeiten (insgesamt maximal 11) Angaben machen konnte, erhöhen sich durch die möglichen Kombinationen die Fallzahlen. Betrachtet wurden als Einheiten nun nicht mehr die einzelnen Befragten, sondern die Nennungen dieser.

Um das arithmetische Mittel berechnen zu können, wurden die Angaben zu den Fragen 2 und 3 zunächst dichotomisiert (die beiden Skalenpunkte sind 0 geringe Automation und 1 hohe Automation). Des Weiteren wurde eine GewichtungsvARIABLE erzeugt, die nur Fälle einbezieht, die zu beiden Fragen eine gültige Angabe aufweisen. Da ein Befragter zu

mehreren Arbeitsmitteln (insgesamt 26) und mehreren Tätigkeiten (insgesamt 11) Angaben machen konnte, erhöhen sich durch die möglichen Kombinationen die Fallzahlen. Betrachtet wurden als Einheiten nun nicht mehr die einzelnen Befragten, sondern die Nennungen dieser.

Tabelle 10: Mittelwerte der Einschätzungen Heute und in Zukunft nach Branchen. (N=Anzahl der Nennungen).

Branche	Heute (Frage 2)	in 10 Jahren (Frage 3)	Differenz (Index)
01 Land-, Forstwirtschaft & Fischerei (n=8)	0	0	0,00
03 verarbeitendes Gewerbe (n=273)	0,06	0,31	0,25
04 Energieversorgung (n=9)	0	0,22	0,22
05 Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung & Beseitigung von Umweltverschmutzungen (n=2)	0,1	0	-0,13
06 Baugewerbe (n=133)	0,11	0,22	0,11
07 Handel; Instandhaltung & Reparatur von Kraftfahrzeugen (n=41)	0,01	0,15	0,13
08 Verkehr & Lagerei (n=25)	0,10	0,33	0,23
09 Gastgewerbe (n=7)	0,06	0,14	0,08
10 Information und Kommunikation (n=9)	0	0	0,00
11 Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen (n=32)	0,03	0,31	0,28
12 Grundstücks- und Wohnungswesen (n=23)	0,16	0,52	0,36
13 Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen (n=101)	0,04	0,20	0,16
14 Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen (n=28)	0,06	0,11	0,05
15 Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (n=27)	0,04	0,13	0,09
16 Erziehung und Unterricht (n=107)	0,08	0,40	0,32
17 Gesundheits- und Sozialwesen (n=46)	0,03	0,13	0,10
19 sonstige Dienstleistungen (n=55)	0,02	0,12	0,10

Quelle: BIBB Online-Expertenbefragung 2018, eigene Berechnungen.

Als Index für die Automation wurde die Differenz der Mittelwerte aus den Angaben zu Frage 2 und Frage 3 gebildet. Eine positive Zahl bedeutet eine erwartete Zunahme an Automation für die jeweilige Branche, eine negative Zahl hingegen eine Abnahme.

3.4 Digitalisierungsindizes als Ausschöpfungsindex

Abbildung 6 stellt die Unterschiede in der Bewertung des Digitalisierungsstands der vier Indizes in zusammengefassten Branchenkategorien als Indikator für die Ausschöpfungsmöglichkeiten der Ersetzungspotenziale dar. Hierfür werden die Ränge für die jeweiligen Indizes über die Branchenkategorien ermittelt. Wir folgen hierbei der Logik, dass ein hoher Digitalisierungsstand und gering eingeschätzte oder derzeitige Veränderungen einen bereits ausschöpfenden Digitalisierungsstand charakterisieren, sodass die zukünftigen Ausschöpfungsmöglichkeiten eher gering sein könnten. Deswegen gibt ein hoher Rang für den Digitalisierungsgrad und den Anteil der Investitionen in digitale Technologien auf Basis des BIBB-Qualifizierungspanels jeweils einen hohen Digitalisierungsstand und eine damit verbundene hohe Ausschöpfungsmöglichkeit von Ersetzungspotenzialen in der Zukunft an. Der Anteil der Firmen mit steigenden Investitionen in digitale Technologien auf Basis des BIBB-Qualifizierungspanels und der Index, welcher auf Basis der Experten-Befragung ermittelt wurde, bewerten wir hingegen als eher zukunftsgerichtet, da sie angeben, wie viel Veränderung in den Branchen bereits geschehen und in Zukunft zu beobachten ist. Daher gibt bei diesen Indizes der niedrigste Rang den höchsten Digitalisierungsstand und damit die höchsten zukünftigen Ausschöpfungsmöglichkeiten an.

Weiterhin berechnen wir den Rang des mittleren Indexwertes für die jeweilige Branche. Hierfür werden die verschiedenen Indizes des Digitalisierungsstands zunächst standardisiert, so dass sie über die Branchenkategorien stets einen Mittelwert von 0 und eine Standardabweichung von 1 aufweisen. Dann wurden Ränge für den einfachen Mittelwert für die Branchenkategorien ermittelt, welche als Mittel der standardisierten Indizes in der Abbildung 6 ablesbar sind.

Insgesamt lässt sich aus Abbildung 6 ablesen, dass der Digitalisierungsstand in Erziehung und Unterricht im Mittel am niedrigsten bewertet wird. Auch Chemie und Pharmazie und Verkehr, Lagerei und Post haben im Mittel einen niedrigen Rang. Den höchsten Rang des mittleren Digitalisierungsstands haben Firmen in der Branche Information, Kommunikation und Verlagswesen. Auch Betriebe in der Forschung und Entwicklung sowie Maschinen- und Automobilbau bewerten ihren Digitalisierungsstand im Mittel als besonders hoch.

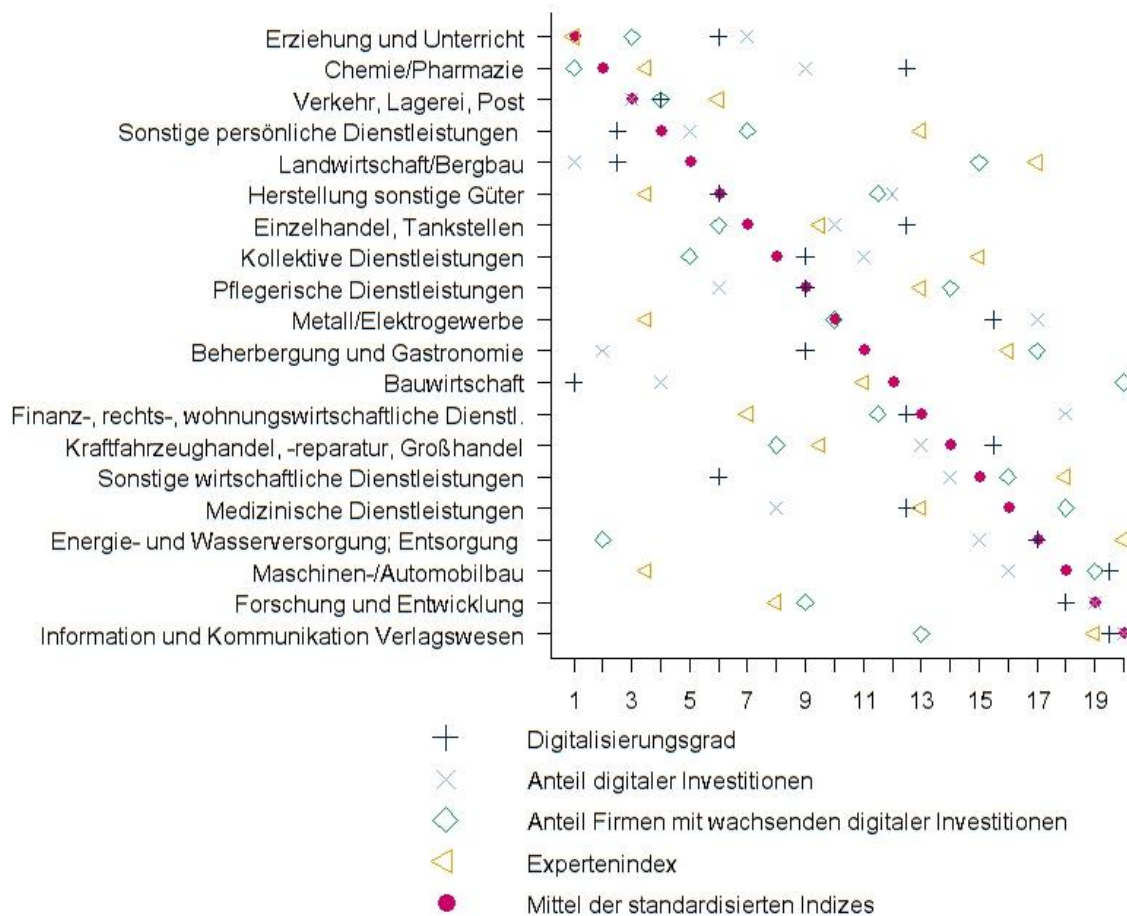
Der Annahme folgend, dass besonders in Branchen mit bisher niedrig eingeschätzten Digitalisierungsstand in Zukunft verstärkt noch Ersetzungspotenziale ausgeschöpft werden

können, ist in eben diesen Branchen mit höheren Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeitskräftenachfrage zu rechnen als in solchen, in denen der Digitalisierungsstand bereits als vergleichsweise hoch eingeschätzt wurde. Demnach ist mit eher höheren Veränderungen der Nachfrage in Erziehung und Unterricht und mit eher geringeren bei Information, Kommunikation und Verlagswesen zu rechnen. Die Branche Erziehung und Unterricht weist jedoch den geringsten Anteil an Beschäftigten mit hoher Ersetzbarkeit auf (vgl. Tabelle 5), sodass die auszuschöpfenden Potenziale auch bei hohem Ausschöpfungsgrad gering ausfallen dürften und somit auch die Auswirkungen auf die Nachfrage. Die Branche Information, Kommunikation und Verlagswesen, wie auch Forschung und Entwicklung und Maschinen- und Automobilbau weisen ebenfalls relativ geringe Ersetzungspotenziale auf (vgl. Tabelle 5), sodass der hohe Digitalisierungsstand eher geringe zukünftige Auswirkungen auf die Nachfrage erwarten lässt. Die Branchen Chemie und Pharmazie sowie Verkehr, Lagerei und Post hingegen weisen überdurchschnittliche Ersetzungspotenziale auf; der Anteil der hoch ersetzbaren Beschäftigten ist in Verkehr, Lagerei und Post sogar am höchsten (vgl. Tabelle 5). Hier könnte der gleichzeitige niedrige Digitalisierungsstand größere Auswirkungen auf die Nachfrage nach Beschäftigten in Zukunft bedeuten.

Bei der Interpretation des mittleren Digitalisierungsstands müssen jedoch auch die Unterschiede in den verschiedenen Indizes in Abbildung 6 beachtet werden. Sie machen ebenfalls die Unterschiede im Informationsgehalt über den Digitalisierungsstand der Indizes deutlich. So verwenden Betriebe in der Bauwirtschaft, dem Digitalisierungsgrad zu Folge, bisher nur wenige der neuen digitalen Technologietypen und investieren im Mittel nur zu geringen Teilen in diesem Bereich. Demzufolge wäre mit einem noch hohen Ausschöpfungsgrad der Ersetzungspotenziale in Zukunft zu rechnen. Andererseits sind in dieser Branche nur wenige Firmen mit einem Anstieg in den Investitionen in digitale Technologien im letzten Jahr verortet gewesen und Experten der Branche schätzen den Anstieg des Digitalisierungsgrad von Tätigkeiten und Arbeitsmitteln vergleichsweise mittelmäßig ein. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Landwirtschaft und den Bergbau, aber auch in der Beherbergung und Gastwirtschaft.

Im Beispiel der Chemie- und Pharmaindustrie hingegen, ziehen die Experteneinschätzung hoher Veränderungen in den nächsten zehn Jahren und ein hoher Anteil mit Firmen mit steigenden Investitionen in digitale Technologien, den mittleren Indexwert herunter, sodass hohe zukünftige Ausschöpfungsmöglichkeiten von Ersetzungspotenzialen denkbar sind. Der Digitalisierungsgrad und der Anteil digitaler Technologien an den Investitionen wiederum sprechen eher für vergleichsweise moderate Ausschöpfungsmöglichkeiten.

Abbildung 6: Rang der mittleren standardisierten Indexwerte und der Indexwert



Quelle: BIBB-Qualifizierungspanel 2016, BIBB Online-Expertenbefragung 2018, eigene Berechnungen.

4. Fazit

In der Diskussion über die Verdrängung von menschlicher Arbeitskraft durch Maschinen, insbesondere durch programmierbare Roboter, bleiben unterschiedliche Fragen unbeantwortet. Mit diesem Beitrag versuchen wir Antworten und Antwortmöglichkeiten zu geben auf die Fragen danach, wie diese ersetzbaren Aufgaben sinnvoll ermittelt werden können, wie mit der Diskrepanz umgegangen werden kann, die zwischen den aktuell (auch in empirischen Daten) feststellbaren Arbeitsaufgaben und den neuen Aufgaben in der Zukunft liegt und mit welcher Wahrscheinlichkeit eigentlich Ersetzungspotentiale auch tatsächlich umgesetzt werden.

Mit aktuellen Daten aus Projekten des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB-Qualifizierungspanel, BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung, Expertenbefragungen) und unter Einbezug externer Datenquellen konnte eine Basis geschaffen werden, mit der sowohl der aktuelle Stand bei der Verteilung von Arbeitsaufgaben abgebildet werden kann und gleichzeitig der betriebliche Umgang mit der Verteilung und Organisation dieser Aufgaben.

Die aktuell zu beobachtende und zukünftig erwartbare Technologieadaption fließen ein in einer Information zu Ausschöpfungsquoten von Ersetzungspotentialen.

Dabei wurden zwei Indizes genutzt, die Informationen aus unterschiedlichen Perspektiven einander gegenüberstellen helfen können, nämlich ein Ersetzungspotential aus Erwerbstätigensicht (CEP) und aus betrieblicher Sicht (QPE). Beide Indizes sind unter Berücksichtigung ihrer jeweils unterschiedlichen Datenbasis miteinander vergleichbar, auch wenn die Aggregation auf der Ebene von Branchen durch die Eigenarten der jeweiligen Datenquellen keine vollständige Kongruenz ermöglicht. Gründe für die Differenzen sind vor allem in unterschiedlichen Bewertungen der Informationen von individuellen Erwerbstätigen einerseits und Personen in Betrieben in für Personal- und / oder Investitionsentscheidungen verantwortlichen Positionen andererseits zu finden. So konnte eine Matrix mit Ersetzungspotentialen für 144 Berufsgruppen und 63 Branchen ermittelt werden.

Darüber hinaus konnte aus Daten zum Digitalisierungsgrad von Firmen, dem Anteil digitaler Investitionen an den Gesamtinvestitionen, dem Anteil der Firmen mit wachsenden digitalen Investitionen und einem Expertenindex ein Ausschöpfungsgrad gewonnen werden. Mit diesem Ausschöpfungsgrad können die Branchen in Gruppen unterteilt werden, die es zum Beispiel im Rahmen von Projektionen ermöglichen, genauere Angaben über die zukünftige Beschäftigungsentwicklung in Berufen und Branchen wegen der Einführung neuer Technologien zu treffen.

Werden das berechnete Ersetzungspotenzial und der Ausschöpfungsgrad von 20 Branchen nebeneinander betrachtet sind vor allen Dingen in Chemie und Pharmazie sowie Verkehr, Lagerei und Post größere Auswirkungen auf die Arbeitskräftenachfrage möglich. In diesen Branchen ermitteln wir vergleichsweise hohe Ersetzungspotenziale bei einem gleichzeitig hohen Ausschöpfungsgrad.

5. Literatur

ACEMOGLU, Daron; AUTOR, David H.: Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In CARD, David; ASHENFELTER, Orley (Hrsg.): Handbook of Labor Economics. 4. Aufl. North Holland 2011, S. 773–1823

ARNTZ, Melanie; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich: Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen. Bundesministerium für Forschung und Entwicklung (BMBF) (Hrsg.). Mannheim 2018 – URL: <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/DigitalisierungundZukunftderArbeit2018.pdf> (Stand: 19.09.2018)

ARNTZ, Melanie; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich: The risk of automation for jobs in OECD countries. A comparative analysis. OECD Social, Employment, and Migration Working Papers 189, OECD 2016a.

ARNTZ, Melanie u.a.: Arbeitswelt 4.0 - Stand der Digitalisierung in Deutschland-Dienstleister haben die Nase vorn. In: IAB Kurzbericht (2016b) 22 – URL: <http://doku.iab.de/kurzber/2016/kb2216.pdf> (Stand: 19.09.2018)

AUTOR, David: Technological Change and Earnings Polarization: Implications for Skill Demand and Economic Growth. The Conference Board, Economics Program, Economics Program Working Papers: 08-07 (2008) – URL: https://www.conference-board.org/pdf_free/workingpapers/E-0034-08-WP.pdf (Stand: 19.09.2018)

AUTOR, David H.; LEVY, Frank; MURNANE, Richard J.: The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. In: Quarterly Journal of Economics (2003) 118(4), S. 1279-1333

BAUERNHANSEL, Thomas; TEN HOMPEL, Michael; VOGEL-HEUSER, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014

BAUMOL, William J.: Macroeconomics of unbalanced growth: The anatomy of urban crisis. In: American Economic Review (1967) 57(3), S. 415–426

BELLMANN, Lutz; GENZ, Sabrina; MATTHES, Britta: Do German works councils slow down or foster the implementation of digitalization technologies? First evidence from the IAB-Establishment Panel. Nürnberg 2014

BENZELL, Seth G. u.a.: Robots are us: Some economics of human replacement. Nber Working Papers 20941, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA 2015 – URL: <http://www.nber.org/papers/w20941.pdf> (Stand: 19.09.2018)

Böhle, Fritz u.a.: Der gesellschaftliche Umgang mit Erfahrungswissen: Von der Ausgrenzung zu neuen Grenzziehungen“. In: Beck, Ulrich, Lau; Christoph (Hrsg.): Entgrenzung und Entscheidung: Was ist neu an der Theorie reflexiver Modernisierung?. Frankfurt am Main 2004: Suhrkamp, S. 95-122

BONIN, Holger; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich: Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. In: ZEW Kurzexpertise (2015) 57 – URL: https://www.arbeitenviernull.de/fileadmin/Downloads/Kurzexpertise_BMAS_zu_Frey-Osborne.pdf (Stand: 19.09.2018)

DEMING, David J.: The growing importance of social skills in the labor market. In: The Quarterly Journal of Economics (2017) 132(4), S. 1593–1640

DENGLER, Katharina; MATTHES, Britta: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. In: IAB Forschungsbericht (2015) 11 – URL: <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb1115.pdf> (Stand: 19.09.2018)

FENG, Andy; GRAETZ, Georg: Rise of the machines: The effects of labor-saving innovations on jobs and wages. In: Cep Discussion Papers dp1330, Centre for Economic Performance (2015) – URL: <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1330.pdf> (Stand: 19.09.2018)

FREY, Carl Benedikt; OSBORNE, Michael A.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. In: Technological Forecasting and Social Change (2017) 114, S. 254-280

HIRSCH, Barry: Firm Investment Behavior and Collective Bargaining Strategy. In: Industrial Relations A Journal of Economy and Society (1992) 31(1), S. 95-121

HELMRICH, Robert u.a.: Digitalisierung der Arbeitslandschaften – Keine Polarisierung der Arbeitswelt, aber beschleunigter Strukturwandel und Arbeitsplatzwechsel (Wissenschaftliche Diskussionspapiere 180). Bonn 2016 – URL: www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/8169 (Stand: 19.09.2018)

JANSSEN, Simon; MOHRENWEISER, Jens: The long-lasting effect of technological change on the careers of young workers: Evidence from changes of mandatory training regulations. Annual Conference: Economic Development - Theory and Policy 112851, Verein für Socialpolitik / German Economic Association. Münster 2015 – URL: <https://www.aeaweb.org/conference/2016/retrieve.php?pdfid=149> (Stand: 19.09.2018)

KAISER, Henry F.: An index of factorial simplicity. In: Psychometrika (1974) 39(1), S. 31-36

KRAFT, Kornelius; STANK, Jörg; DEWENTER, Ralf: Co-Determination and innovation. Cambridge Journal of Economics (2009), 35(1), S. 145-172.

MENEZES-FILHO, Naerico; ULPH, David VAN REENEN, John: R&D and unionism: comparative evidence from British companies and establishments. Industrial and Labor Relations Review (1998), 52(1), S. 45-54.

PFEIFFER, Sabine: Montage und Erfahrung. Warum ganzheitliche Produktionssysteme menschliches Arbeitsvermögen brauchen. Rainer Hampp Verlag, München und Mering 2007.

PFEIFFER, Sabine; SUPHAN, Anne: Der AV-Index Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Stuttgart 2015. - URL: <https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-final.pdf> (Stand: 19.09.2018)

PRATT, Gill A.: Is a Cambrian explosion coming for robotics?. In: Journal of Economic Perspectives (2015) 29(3), S. 51–60

SACHS, Jeffrey D.; BENZELL, Seth G.; LAGARDA, Guillermo: Robots: Curse or blessing? A basic framework. Nber Working Papers 21091. National Bureau for Economic Research. Cambridge, MA 2015 – URL: <http://jeffsachs.org/wp-content/uploads/2015/04/w21091-Robots-Curse-or-Blessing-.pdf> (Stand: 19.09.2018)

TIEMANN, Michael: Routine at work-. An investigation into routine work contents on the basis of employee surveys since 1979. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (2016a) 2, S. 18–22

TIEMANN, Michael: Kurzexpertise „Polarisierung von Tätigkeiten in der Wirtschaft 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Fachkräftebedarf in der digitalisierten Arbeit von morgen“ (2016b) – URL: https://www.bibb.de/dokumente/pdf/AB22_Polar_Polarisierungsthese-Frey_V2.1.pdf (Stand: 02.10.18)

TIEMANN, Michael: Wissensintensität von Berufen und ihre Entlohnung. Klassifikation und empirische Ergebnisse. In: DIETZEN, Agnes; POWELL, Justin J.W.; BAHL, Anke; LASSNIGG, Lorenz (Hrsg.): Soziale Inwertsetzung von Wissen, Erfahrung und Kompetenz in der Berufsbildung, Weinheim und Basel 2015: BeltzJuventa , S. 281-299

WEBER, Tobias u.a.: Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL 2018-Kurzfassung. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.). Berlin 2018 – URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2018-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (Stand: 19.09.2018)

WELLER; Sabrina; LUKOWSKI, Felix; BAUM, Myriam: Digitalisierung in Betrieben und betriebliche Ausbildung- Ergebnisse aus dem BIBB-Qualifizierungspanel. In: Bundesinstitut für Berufsbildung (Hrsg.): Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2018. Informationen und Analysen zur Entwicklung der Beruflichen Bildung. Bonn 2018, S. 220-223

WISCHMANN, Steffen; WANGLER, Leo; BOTTHOF, Alfons: Industrie 4.0 – Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.). Berlin 2015 – URL: https://www.iit-berlin.de/de/publikationen/industrie-4-0-volks-und-betriebswirtschaftliche-faktoren-fuer-den-standort-deutschland/at_download/download (Stand: 19.09.2018)

WOLTER, Marc Ingo u.a.: Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen.

IAB Forschungsbericht 13.Nürnberg 2016. - URL: <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2016/fb1316.pdf> (Stand: 19.09.2018)