

Marco Seegers | Kathrin Ehmann

# Arbeitsaufgaben und technischer Wandel

Ein Modell zur Analyse von Substitution und Komplementarität



BIBB Discussion Paper

Zitiervorschlag:

Seegers, Marco; Ehmann, Kathrin: Arbeitsaufgaben und technischer Wandel: Ein Modell zur Analyse von Substitution und Komplementarität. Version 1.0 Bonn, 2021.

Online: [https://res.bibb.de/vet-repository\\_779499](https://res.bibb.de/vet-repository_779499)



© Bundesinstitut für Berufsbildung, 2021

Version 1.0  
November 2021

**Herausgeber**

Bundesinstitut für Berufsbildung  
Robert-Schuman-Platz 3  
53175 Bonn  
Internet: [www.vet-repository.info](http://www.vet-repository.info)  
E-Mail: [repository@bibb.de](mailto:repository@bibb.de)

**CC Lizenz**

Der Inhalt dieses Werkes steht unter Creative-Commons-Lizenz (Lizenztyp: Namensnennung – Keine kommerzielle Nutzung – Keine Bearbeitung – 4.0 International).

Weitere Informationen finden sie im Internet auf unserer Creative-Commons-Infoseite

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

# Arbeitsaufgaben und technischer Wandel: Ein Modell zur Analyse von Substitution und Komplementarität

Seegers, Marco<sup>1</sup>

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn  
Arbeitsbereich 1.2. Qualifikation, berufliche Integration und Erwerbstätigkeit  
[Marco.Seegers@bibb.de](mailto:Marco.Seegers@bibb.de)

Ehmann, Kathrin<sup>2</sup>

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn  
Arbeitsbereich 1.2. Qualifikation, berufliche Integration und Erwerbstätigkeit  
[Ehmann@bibb.de](mailto:Ehmann@bibb.de)

## Abstract

Der technische Wandel der Arbeitswelt wird zumeist im Hinblick auf seine makroökonomischen Auswirkungen auf die Arbeitsnachfrage und die Löhne analysiert. Im Zuge dessen werden Technik-Mensch-Interaktionen auf individueller Ebene nur selten betrachtet. Daher ist weitgehend unbekannt, welche Arbeitsaufgaben tatsächlich einer technikinduzierten Substitution unterliegen und unter welchen Bedingungen Arbeit und digitale Technik komplementär zusammenwirken. Wir entwickeln ein Modell zur gemeinsamen Betrachtung und Erklärung von Substitution und Komplementarität zwischen Arbeitsaufgaben und Technologieeinführungen am Arbeitsplatz. Im Modell verbinden wir den task-Ansatz (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003) mit Forschungsansätzen zum sozio-technischen System, um kausalanalytisch zu untersuchen, inwiefern als "ersetzbar" eingestufte Arbeitsaufgaben (Routineaufgaben) durch verschiedene Technikeinführungen tatsächlich ersetzt werden. Die Ergebnisse unseres Anwendungsbeispiels mit Befragungsdaten auf Beschäftigtenebene aus dem Jahr 2018 zeigen, dass die Häufigkeit von a) Mess-/Prüfaufgaben, b) Steuerungs-/Überwachungsaufgaben, c) Reparaturaufgaben sowie d) Produktionsaufgaben bei Ingenieur\*innen und Techniker\*innen mit der Einführung neuer Produktions- oder Verfahrenstechnik substantiell steigt. Diese ersten Ergebnisse liefern somit keine Belege für die Substitution sogenannter Routineaufgaben von Ingenieur\*innen und Techniker\*innen und deuten vielmehr auf vorhandene Komplementaritäten hin.

**Schlagwörter:** *Komplementarität, Substitution, Arbeitsaufgaben, Tätigkeiten, task-Ansatz, Sozio-technische Systeme, Technik, technischer Wandel, Kausalanalyse*

Die Ausarbeitung entstand im Rahmen des Teilprojekts „Substitution & Komplementarität“ des Drittmittelprojektes „Polarisierung 4.0“, welches am Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) angesiedelt ist und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als Mittelgeber finanziert wird (siehe <https://www.bibb.de/de/94793.php>).

Für wertvolle Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge danken wir Prof. Dr. Robert Helmrich, Dr. Michael Tiemann, Dr. Alexandra Mergener, Pia Wagner, Birgit Zeyer-Glozzo, Lisa Fournier und Nicolai Bör.

---

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0934-2707>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9805-7915>

## Inhaltsverzeichnis

1. Von Substitutionspotenzialen zu Komplementarität.....	3
2. Theoretisches Konzept.....	5
2.1. Mensch-Technik-Interaktion aus ökonomischer und soziologischer Perspektive .....	5
2.2. Definition von Substitution und Komplementarität .....	8
3. Forschungsstand .....	11
3.1. Task-Ansatz und Substitutionspotenziale .....	11
3.2. Forschungslücken- und bedarf .....	19
3.3. Kontextfaktoren von Arbeitsaufgaben und Technikeinführung .....	20
4. Daten und empirisches Modell.....	29
4.1. Daten und Methodik.....	30
4.2. Anwendungsbeispiele .....	34
5. Diskussion und Forschungspotenziale .....	38
Literatur .....	41
Appendix .....	47

# 1. Von Substitutionspotenzialen zu Komplementarität

Technischer Wandel in der Arbeitswelt wird häufig mit Blick auf gesamtwirtschaftliche Veränderungen der Arbeitsnachfrage und Löhne untersucht. Dabei steht beispielsweise im Fokus, inwiefern technischer Wandel die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine und somit auch Arbeitsnachfrage und -angebot einer Wirtschaft beeinflusst (BONIN/GREGORY/ZIERAHN 2015, DENGLER/MATTHES 2015, DENGLER/MATTHES 2018, FREY/OSBORNE 2013, FREY/OSBORNE 2017). Studien auf Basis des task-Ansatzes (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003) nehmen an, dass bestimmte „tasks“ (Arbeitsaufgaben) technisch ersetzbar sind, während andere durch Technikeinsatz ergänzt werden. Folglich liegt der Fokus solcher Studien auf Prozessen der Berufs-, Arbeitsplatz- und Erwerbstätigkeitsebene, die auch von öffentlichem bzw. politischem Interesse sind. Denn oftmals werden Kennzahlen (z. B. in Form von Substitutionspotenzialen) errechnet, die versuchen zu prognostizieren, in welchem Ausmaß bestimmte Berufe und Arbeitsplätze im Rahmen des technischen Wandels durch digitale Endgeräte/Maschinen ersetzt werden können. Dabei fokussiert der task-Ansatz häufig zu selektiv auf einzelne Aufgabenbereiche (z. B. Routineaufgaben) und lässt relevante soziale Dimensionen der Art der Arbeitsausführung und -organisation unterbelichtet (FERNÁNDEZ-MACÍAS/BISELLO 2021).

Differenziertere Erklärungen dafür, wie und unter welchen Bedingungen Arbeit von den technikinduzierten Wandlungsprozessen betroffen ist, sind erst seit kurzem verstärkt Thema in empirischen Auseinandersetzungen mit dem task-Ansatz (BSPW. BESSEN u. a. 2019, FERNÁNDEZ-MACÍAS/BISELLO 2021, GENZ u. a. 2021, GREGORY/SALOMONS/ZIERAHN 2021, MOFAKHAMI 2021, REIMANN/ABENDROTH/DIEWALD 2020). Bis dato ist weitestgehend unbekannt, welche Arbeitsaufgaben tatsächlich automatisiert werden und welche Kontextfaktoren (z. B. Betriebsgröße und individuelle Kompetenzen) mit der Ausschöpfung von Ersetzungspotenzialen in Verbindung stehen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass schwer formalisierbare Anteile von Arbeitsaufgaben (BÖHLE 2017, PFEIFFER 2004) oft nur beiläufig berücksichtigt werden. Zudem rückt die starke Fokussierung auf Substitutionspotenziale von Arbeitsaufgaben, Fragen nach der Art der eingesetzten Technik in den Hintergrund (GENZ u. a. 2021, REIMANN/ABENDROTH/DIEWALD 2020). In Folge dessen bleibt bisher ungeklärt, inwiefern verschiedene Technik im jeweiligen Kontext einzelne Arbeitsaufgaben ersetzt (Substitution) oder aber ergänzt (Komplementarität). Erkenntnisse zu diesem Zusammenwirken von Arbeitsaufgaben und Technik, könnten jedoch eine proaktive Technikgestaltung einerseits und eine vorausschauende Anpassung von (Weiter-)Bildung fördern.

In diesem Beitrag konzeptualisieren und modellieren wir Komplementaritäten und Substitutionen des technischen Wandels auf individueller Arbeitsaufgabenebene. Wir verbinden den task-Ansatz (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003) mit Forschungsansätzen zum sozio-technischen System (HIRSCH-KREINSEN

2018a, HIRSCH-KREINSEN 2018b, HUCHLER 2018). Konkret nehmen wir in den Blick, welche Aufgaben erwerbstätige Personen ausüben und welche Technik an ihrem Arbeitsplatz eingeführt wurde. Dabei unterscheiden wir grundlegend zwischen Substitution und Komplementarität als zwei Extrempunkte auf dem Spektrum der Mensch-Technik-Interaktionen.<sup>3</sup> Aus einer kritischen Auseinandersetzung mit der ökonomischen Forschung zu technischem Wandel und Arbeit in Deutschland leiten wir Erkenntnisse über die Grenzen des task-Ansatzes ab und zeigen Forschungslücken auf, die wir durch die Verknüpfung von task- und sozio-technischem System-Ansatz schließen wollen. Unsere Ziele sind dabei, die bisher vorwiegend ökonomisch geprägte, quantitative Forschung zu Substitutionspotenzialen um Theorien und Erkenntnisse arbeitssoziologischer Forschung zu erweitern sowie einen stärkeren Fokus auf Komplementarität als Ergänzungsprozess zu legen. Mit unserem Konzept möchten wir eine anschlussfähige theoretische Grundlage schaffen, die (1.) ein differenzierteres Verständnis von Substitution und Komplementarität sowie derer Gegenstände zu Grunde legt; (2.) erklärende Faktoren jenseits der technischen Programmierbarkeit miteinschließt; und (3.) die Grenzen von Substitutionspotenzialen aufzeigt sowie Schnittstellen für komplementäre Techniknutzung offenlegt.

Im Unterschied zu existierenden ökonomischen Modellen der Mensch-Technik-Interaktionen analysieren wir Substitution und Komplementarität auf Aufgabenebene, ohne dabei Arbeitsaufgaben a priori – nach vermeintlicher Ersetzbarkeit – zu kategorisieren. Das heißt, wir modellieren explizit Veränderungen von Arbeitsaufgaben durch Technikeinführung und können durch diese disaggregierte Betrachtung erklärende Mechanismen prüfen. Dabei erlauben die Beschäftigtendaten der BIBB-BAuA Erwerbstätigenbefragung (ETB) aus dem Jahr 2018 (HALL/HÜNEFELD/ROHRBACH-SCHMIDT 2020) Technikeinführungen am Arbeitsplatz in Fertigungs- und Verfahrenstechnik, Software sowie Maschinen und Anlagen zu unterscheiden. Im Vergleich zu bisherigen Operationalisierungen<sup>4</sup> von Innovation bzw. Technikeinsatz auf Betriebs- oder Branchenebene stellt unser Modell eine unmittelbare und differenziertere Operationalisierung von Arbeitsaufgabenveränderungen durch technischen Wandel am Arbeitsplatz dar.

Unter technischem Wandel verstehen wir Automatisierungsprozesse durch digitale sowie nicht-digitale Technik. Ein Beispiel für nicht-digitale Automatisierungstechnik stellt eine historische neuzeitliche Windmühle dar, welche – angetrieben durch Windkraft – den Mahlprozess mechanisch

---

<sup>3</sup> Daneben existieren assistive Techniken, die primär Personen mit Sinneseinschränkungen/Behinderungen unterstützen und z. B. im Bereich der Gesundheit und Pflege unterstützend wirken (vgl. HOFFMANN-WAGNER/JOSTES 2021). Im vorliegenden Beitrag werden assistive Techniken unter komplementären Technik-Mensch-Beziehungen subsumiert.

<sup>4</sup> In den meisten bisherigen Operationalisierungen im Rahmen des task-Ansatzes wird der Einfluss von Technik auf individuelle Aufgaben tendenziell eher theoretisch unterstellt als explizit und differenziert empirisch gemessen.

automatisiert. Digitale Automatisierungstechniken umfassen bspw. von manuellen Arbeitsmitteln (wie Telefon, Kopiergerät, Bohrmaschine) über indirekt gesteuerte Technik (wie CNC-Maschinen oder Computer) bis hin zu selbststeuernden (z. B. Künstliche Intelligenz, Internet der Dinge, Cyber-Physische Systeme) und IT-integrierten Technologien (z. B. Internetplattformen, Analysesoftware mit Big Data) die unterschiedlichsten Technikarten (ARNTZ u. a. 2020).

Eine der beiden Säulen unserer theoretischen Grundlage ist der task-Ansatz (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003), der vereinfacht gesagt, Berufe als Bündel von „tasks“ betrachtet, die unterschiedlich kompatibel mit digitaler Technik sind (siehe Kapitel 3.1). „task“ übersetzen wir im Folgenden mit „Arbeitsaufgabe“ bzw. kurz „Aufgabe“ und verstehen darunter Arbeitsschritte, die an einem bestimmten Arbeitsplatz von einzelnen Personen ausgeführt werden. Mit dieser Terminologie beugen wir Missverständnissen vor, die durch eine in der ökonomischen Forschung übliche Übersetzung von „task“ mit „Tätigkeit“ entstehen. Im deutschen Sprachgebrauch kann eine „Tätigkeit“ jedoch Arbeitsprozesse in unterschiedlicher Form und auf unterschiedlichen Ebenen darstellen (z. B. Erwerbstätigkeit, berufliche Tätigkeit, einzelne Tätigkeiten am Arbeitsplatz). Zur unterschiedlichen Bedeutung von Aufgaben, Fähigkeiten und Kompetenzen in unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen (z. B. Wirtschaft, Soziologie und Bildung) siehe auch RODRIGUES/FERNÁNDEZ-MACÍAS/SOSTERO (2021), die einen einheitlichen konzeptionellen Rahmen für die Begriffe Aufgaben, Fähigkeiten und Kompetenzen vorschlagen.

## 2. Theoretisches Konzept

### 2.1. Mensch-Technik-Interaktion aus ökonomischer und soziologischer Perspektive

Der task-Ansatz wird in der ökonomisch geprägten Arbeitsmarkt- und Berufsforschung zum technischen Wandel von Arbeit häufig als theoretische Grundlage herangezogen. Mit dem Ansatz werden die Effekte digitaler Technik auf die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik sowie für die Nachfrage nach Kompetenzen und Qualifikationen geschätzt. Demnach bedingt technischer Wandel (z. B. in Form einer Prozess-, Produkt- oder organisatorischen Innovation) die Ersetzung (Substitution) und Ergänzung (Komplementarität) von Arbeitsaufgaben. Bisher befasst sich ein Großteil der ökonomischen Forschung zur Digitalisierung von Arbeit mit der Schätzung von Substitutionspotenzialen für Beschäftigte, Berufe und/oder Arbeitsaufgaben.<sup>5</sup> Dabei gibt das Substitutionspotenzial den Aufgabenanteil wieder, der aktuell oder in absehbarer Zukunft durch digitale Technik ausgeführt werden könnte (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003). Zur Ermittlung der Substitutionspotenziale müssen jedoch a priori Annahmen getroffen werden (z. B. durch Experten-

---

<sup>5</sup> siehe Kapitel 3.1.

/Expertinneneinschätzungen), welche Arbeitsaufgaben durch digitale Technik derzeit und/oder zukünftig ersetzbar sein werden. Dabei werden in der Regel solche Aufgaben als ersetzbar eingestuft, die ein Mindestmaß an Routineanteilen, also Standardisierung, Regelmäßigkeit und Monotonie beinhalten (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003, S. 1283).<sup>6</sup> Retrospektiv gemessene und somit tatsächlich erfolgte Substitution und Komplementarität von Arbeit durch digitale Technik werden bei dieser Herangehensweise jedoch nicht berücksichtigt. Zudem werden Substitutionspotenziale nicht selten überschätzt und die Komplexität der Arbeitsaufgaben, die Einbettung digitaler Technik in soziale Prozesse sowie das menschliche Arbeitsvermögen unterschätzt (HUCHLER 2019, S. 162). Folglich bleibt unklar, inwiefern prognostizierte Substitutionspotenziale in tatsächlich realisierter Substitution resultieren. Die Erforschung komplementärer Mensch-Technik-Interaktionen bleibt unterbelichtet.<sup>7</sup>

Um Veränderungen der Mensch-Technik-Interaktion besser verstehen und erklären zu können, untersuchen wir, inwiefern Technikeinführungen am Arbeitsplatz die Ausführung bestimmter Arbeitsaufgaben in jüngster Vergangenheit fördern (Komplementarität) und/oder seltener werden lassen (Substitution). Unser Verständnis von Substitution und Komplementarität setzt bei der Interaktion von Mensch und Technik im Zuge der Erledigung einer Arbeitsaufgabe am Arbeitsplatz an. Dabei beziehen wir arbeitssoziologische Ansätze mit ein, die den Zusammenhang zwischen technischem Wandel und Arbeit auf einem breiter gespannten Feld untersuchen als die ökonomisch geprägte Forschung dies bislang tut. Dies hat den Vorteil, dass auch Fragen nach der Gestaltbarkeit und Interaktion der Komponenten Mensch, Technik und Arbeitsorganisation thematisiert werden können. Mit dem Forschungsansatz sozio-technischer Systeme lassen sich Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen sozialen und technischen Systemen als Teilsysteme<sup>8</sup> des Arbeitssystems beschreiben, untersuchen und letztlich in der Praxis gestalten (EMERY/TRIST 1969, KARAFYLLIS 2019, S. 300). HIRSCH-KREINSEN (2018a) entwickelt ein Konzept mittlerer Reichweite für den sozio-technischen Systemansatz, mit dem Mensch-Technik-Interaktionen auf Arbeitsebene besser untersuch- und

---

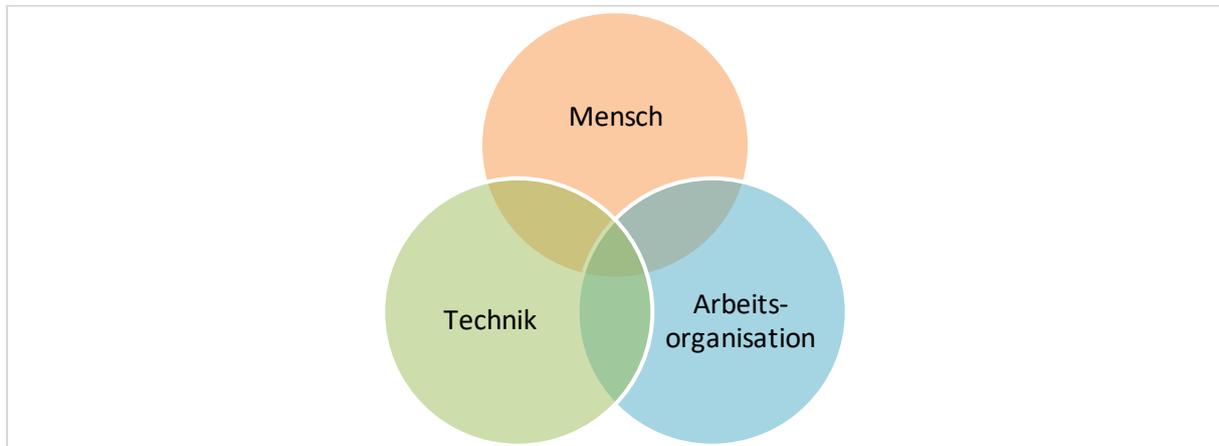
<sup>6</sup> AUTOR/LEVY/MURNANE (2003) ermitteln die potenzielle Ersetzbarkeit von Arbeitsaufgaben anhand ihrer Programmierbarkeit, die für die Autoren wiederum die Kategorisierung einer Arbeitsaufgabe als Nicht-Routine oder Routine determiniert. Inwiefern Arbeitsaufgaben programmierbar sind, hängt davon ab, ob diese eine bestimmte Regelmäßigkeit aufweisen. Generell müssen Arbeitsaufgaben als Handlungsprozess einem bestimmten und wiederkehrenden Muster folgen, um auf Grundlage von Daten formalisiert werden zu können (z. B. in Form von Algorithmen und künstlicher Intelligenz) (DÖRN 2019, WITTENPAHL 2019).

<sup>7</sup> Eine Ausnahme bilden die Arbeiten von HUCHLER (2018), HUCHLER (2019), HUCHLER (2020) sowie die Modelle von ACEMOGLU/RESTREPO (2018b), ACEMOGLU/RESTREPO (2018c), ACEMOGLU/RESTREPO (2019), ACEMOGLU/RESTREPO (2020), GREGORY/SALOMONS/ZIERAHN (2021) und MCGUINNESS/POULIAKAS/REDMOND (2019), die die Entstehung neuer Arbeitsaufgaben durch den Technikeinsatz explizit berücksichtigen.

<sup>8</sup> Das soziale Teilsystem besteht „aus den Organisationsmitgliedern mit ihren individuellen und gruppenspezifischen Bedürfnissen physischer und psychischer Art, insbesondere deren Ansprüche an die Arbeit sowie ihren Kenntnissen und Fähigkeiten“ (ALIOTH 1980, S. 26). Das technische Teilsystem besteht „aus den Betriebsmitteln, den Anlagen und deren Layout, generell aus den technologischen und räumlichen Arbeitsbedingungen, die als Anforderungen dem sozialen System gegenüberstehen.“ (ALIOTH 1980, S. 26).

gestaltbar werden sollen. Er definiert das sozio-technische System unter Verweis auf RICE (1963) als „eine abgegrenzte Produktionseinheit [...], die aus interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen“ (HIRSCH-KREINSEN (2018a: 12) mit jeweiligen Schnittstellen besteht (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Teilsysteme des Sozio-technischen Systems



Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an Hirsch-Kreinsen/Ittermann/Niehaus (2018: 25)

„Zwar begrenzt das technologische Teilsystem die Gestaltungsmöglichkeiten der beiden anderen Teilsysteme, jedoch weisen diese eigenständige soziale und arbeitspsychologische Eigenschaften auf, die wiederum auf die Funktionsweise des technologischen Teilsystems zurückwirken.“ (HIRSCH-KREINSEN 2018a, S. 12) Die zentrale These des sozio-technischen Ansatzes ist, dass Organisationsziele (beispielsweise Leistungsfähigkeit und Produktivitätssteigerung) nur durch die gemeinsame Abstimmung („joint optimization“) von sozialen und technischen Teilsystemen erreicht werden können (KARAFYLLIS 2019, S. 301). Denn das Zusammenwirken von Mensch und Technik<sup>9</sup> wird durch das Verhalten der Beschäftigten, durch organisationale Veränderungen sowie Anpassungen von Technik an soziale Systeme geprägt. Für eine gelingende Arbeitsorganisation müssen folglich Technikeinführungen, die im Arbeitskontext zu Veränderungen führen, in die sozialen Strukturen integriert und aktiv mit bzw. durch die Beschäftigten gestaltet werden (KARAFYLLIS 2019, S. 301).

Dem sozio-technischen Ansatz liegt somit ein normativer Gestaltungsanspruch zu Grunde, der mit der begrenzten Technisierung der Arbeitsumgebung begründet wird. Demnach soll nicht die Technik an

---

<sup>9</sup> Vereinfacht sprechen wir folgend nur von Technik. Hirsch-Kreinsen unterscheidet inhaltlich und terminologisch jedoch zwischen grundlegender Technologie und spezifischer Technik. Dabei bezieht sich Technologie „auf bestimmte digitale Konfigurationen, die bestimmte Funktionen in Produktions- und Arbeitsprozessen übernehmen und in einer spezifischen Art und Weise ausführen.“ (HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 6). Technik ist hingegen „als materiell gestaltetes Artefakt zu verstehen, das sachlich greifbar und sichtbar ist und als technisches System auch mehrere miteinander verbundene Artefakte umfassen kann. Im Rahmen eines technologischen Feldes sind technische Artefakte mit bestimmten Funktionalitäten der Technologie verknüpft und richten sich auf ihre partielle oder umfassende Ausführung.“ (HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 6).

sich, sondern die Mensch-Technik-Interaktion möglichst auf menschliche Kompetenzen und implizites Wissen ausgerichtet sein (HUCHLER 2018). Avisiert wird eine komplementäre Beziehung zwischen Mensch und Technik, die auf der Anerkennung der ‚Grenzen der Digitalisierung‘ (HUCHLER 2018) beruht. Diese Grenzen liegen in den systematischen Unterschieden zwischen formalisierbaren (digitalen) und nicht (komplett) formalisierbaren (physischen und sozialen) Prozesslogiken (HIRSCH-KREINSEN 2018b, S. 250, HUCHLER 2018, S. 149ff.).<sup>10</sup> Daneben lassen sich zwei weitere Digitalisierungsgrenzen identifizieren, die eine Abstimmung zwischen sozialem und technischem System erfordern: (1.) Technikeinsatz bringt eine Schleife von Organisations-, Optimierungs- und Wartungsarbeiten mit sich, die sich beim Versuch ihrer Automatisierung im infiniten Regress selbst reproduzieren und somit nicht vollständig automatisiert werden können (BÖHLE 2009); (2.) im Betrieb automatisierte (digitale) Prozesse und nicht-automatisierte Prozesse (physische Arbeitsmittel und soziale Interaktion) greifen ineinander und bilden komplexe sozio-technische Systeme (HUCHLER 2018, S. 148). Diese Prozesse und ihre Verbindung funktionieren nur, wenn Beschäftigte alltäglich „Abstimmungs- und Übersetzungsleistungen“ (HIRSCH-KREINSEN 2018b, S. 252) erbringen, die Kreativität, Erfahrung, Intuition und Improvisationsvermögen erfordern, da physische Objekte und Randbedingungen nicht komplett kontrollierbar sind und die soziale Praxis kaum vollständig standardisiert ist (HUCHLER 2018, S. 148f.). Wenn also Mensch und Technik feste Bestandteile des Arbeitssystems sind und bleiben, kann es nicht gelingen, menschliche Arbeit einseitig auf eine technische Logik auszurichten.

## 2.2. Definition von Substitution und Komplementarität

Komplementarität und Substitution entstehen beim Zusammentreffen von Mensch und Technik im Zuge der Erledigung einer Arbeitsaufgabe. Dabei wird die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Technik beeinflusst und muss neu-/gestaltet werden. Komplementarität und Substitution verstehen wir somit als Ergebnisse dynamischer Prozesse, die durch eine stetige Anpassung der Zusammenarbeit von Mensch und Technik entstehen. Im Rahmen dessen bezeichnen wir Substitution als jenen Vorgang, bei dem eine Arbeitsaufgabe technisch automatisiert und somit „funktional ersetzt“ (HUCHLER 2018, S. 146) wird. Bedingung für eine erfolgreiche Automatisierung durch Technik ist, dass die für die Ausführung der Arbeitsaufgaben benötigten individuellen Kompetenzen und das subjektive Wissen explizit formalisierbar sind und in eine technische Logik und Sprache überführt werden können (BÖHLE 2017,

---

<sup>10</sup> Dahinter steckt die Überzeugung, dass „essenzielle Teile menschlichen Arbeitsvermögens“ (HUCHLER 2018, S. 149) nämlich das „informelle Organisieren und Handeln“ (HUCHLER 2018, S. 150) nicht digitalisierbar sind, da sie auf implizitem Wissen beruhen, das einen nicht-reduzierenden Umgang mit Komplexität erlaubt und Handlungsfähigkeit unter Unwägbarkeiten und Unsicherheit ermöglicht (BÖHLE 2017).

HUCHLER 2018, S. 145f.).<sup>11</sup> Demnach wird im Rahmen von Substitution menschliches Wissen formalisiert und durch Technik handhabbar gemacht. Die Ausübung einer bestimmten Arbeitsaufgabe setzt stets bestimmtes Wissen und bestimmte Kompetenzen voraus. Menschen handeln bzw. Technik funktioniert somit auf unterschiedliche Art und Weise. Beide greifen auf unterschiedliches Wissen und verschiedene Kompetenzen zurück und führen die Aufgaben unterschiedlich aus. Zum Beispiel wird Technik durch Künstliche Intelligenz in Form von Algorithmen gesteuert, um eine bestimmte Arbeitsaufgabe beispielsweise durch statistisch-probabilistische Methoden zu lösen. Der Mensch kann zusätzlich auf rein menschliche Kompetenzen (wie Intuition, Improvisation, Kreativität) zur Lösung der Aufgabe zurückgreifen. Substituierende Technik stellt somit immer nur ein ‚funktionales Äquivalent‘ menschlichen Handelns dar (HUCHLER 2018, S. 145f.).

Im Dualismus zu Substitution definieren wir Komplementarität aus Perspektive eines sozio-technischen Systemverständnisses als Ergebnis eines gegenseitigen Ergänzungsprozesses menschlicher Kompetenzen und technischer Funktionalität, wodurch bestehende Arbeitsaufgaben effektiver und/oder neue Arbeitsaufgaben ausgeführt werden können. Wir nehmen an, dass Komplementarität nicht nur dort zustande kommt, wo sich menschliche Kompetenzen, Wissen, Erfahrungen und technische Funktionalität unterscheiden (z. B. weil bestimmte Arbeitsaufgaben nicht formalisierbar und durch Technik ausführbar sind). Wir gehen auch davon aus, dass Komplementarität dort entstehen kann, wo sich menschliche Kompetenz und technische Funktionalität überschneiden, Arbeitsaufgaben jedoch aus anderen Gründen nicht technisch ersetzt werden. Diese Gründe sind beispielsweise rechtliche, ethische, wirtschaftliche oder gesellschaftliche Aspekte, die der Automatisierung einer Arbeitsaufgabe entgegenstehen. Inwiefern Komplementarität von Arbeitsaufgaben und Technik entsteht, hängt somit von den Rahmenbedingungen, der Technikgestaltung und der gegenseitigen Abstimmung von Mensch und Technik ab. Dabei erhöht eine gegenseitige Abstimmung von Mensch und Technik die Effektivität der Arbeitsabläufe. Denn gerade wenn Beschäftigte Technik als nützliches Werkzeug oder als Arbeitserleichterung begreifen und verwenden, fördert dies die Akzeptanz und das Vertrauen seitens der Nutzenden (HUCHLER 2018). Dem sozio-technischen Systemansatz zufolge erfordert eine gelingende Abstimmung von Mensch und Technik einen erfahrungsgeliteten und subjektivierenden Technikzugang für Beschäftigte, bei dem sie den Technikumgang lernen und Technik als (physisches oder virtuelles) ‚Werkzeug‘ nutzen können. Unter diesen anthropozentrischen Bedingungen der gemeinsamen Abstimmung (‚joint optimization‘) von Mensch und Technik können Menschen ihre Potenziale voll in den Arbeitsprozess einbringen

---

<sup>11</sup> Mit der Transformation von Wissen in eine technische Logik bzw. Sprache beschäftigen sich u. a. die Theorie der formalen Sprache, sowie die Berechenbarkeits- und Algorithmentheorie als Kernelemente der theoretischen Informatik. In ihnen werden die Möglichkeiten und „natürlichen“ Grenzen von Algorithmen gesteuerter Technik grundlegend und formal beschrieben (z. B. in Form von Turingmaschinen) (TURING 1950).

(HIRSCH-KREINSEN 2018a, S. 23f., HIRSCH-KREINSEN 2018b, S. 244, 251, HUCHLER 2018, S. 157, HUCHLER 2020, S. 4f.). Zuletzt kann Komplementarität unserer Ansicht nach auch qualitative Aspekte wie Aufgabenvielfalt, Arbeitsbedingungen oder Zufriedenheit miteinschließen. So greift ein Komplementaritätsverständnis von Arbeitsaufgaben und Technik, das allein auf Analysen zur Quantität von Arbeitsaufgaben beschränkt ist, zu kurz, weil es für die menschliche Ausführung von Arbeitsaufgaben wichtige Aspekte unbeachtet lässt.

In Abgrenzung zu einer technikdeterministischen Sichtweise gehen wir im Sinne des sozio-technischen Systemverständnisses davon aus, dass das Zusammenwirken im Arbeitskontext und nicht die Art der Technik allein substitutive bzw. komplementäre Wirkungen auf Arbeitsaufgaben entfaltet. Dennoch bestimmt das Technikdesign<sup>12</sup> in gewissem Umfang seine Einsatzmöglichkeiten und begünstigt darüber Substitution oder Komplementarität als *ein* Faktor unter weiteren. Sowohl in der ökonomischen als auch in der soziologischen Arbeitsmarktforschung werden unterschiedliche Funktionen von Technik und Technologie<sup>13</sup> als relevant für ihre Wirkung im Zusammenhang mit Arbeit identifiziert. Spricht man in der ökonomischen Forschung von „labor enabling/augmenting“ und „labor replacing“ (FREY 2019, S. 12ff.) Technologien, unterscheiden arbeitssoziologische Kategorisierungen oft analog in Automatisierungs- und Unterstützungstechnologien (HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 6ff.). Als Spezifikum digitaler Technologien kommen Organisationstechnologien hinzu (HIRSCH-KREINSEN 2018a, S. 7, 11f., HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 15f., 21f.):

„Organisationstechnologie umfasst Planungs-, Steuerungs- und Kontrollverfahren, die früher organisatorisch erbracht worden sind, setzt sie in Daten und Informationen über einen anzustrebenden Produktionsablauf um und steuert auf diese Weise nicht mehr allein Arbeit, sondern den Produktionsprozess mit seinen technischen, sozialen und organisatorischen Elementen in seiner Gesamtheit, d.h. sowohl in der betrieblichen als auch überbetrieblichen Dimension“ (HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 11).

Ihre Bedeutung für Arbeitsprozesse erlangt Organisationstechnologie, indem sie (Informationen über) Prozesse digital zusammenführt und in einem Gesamtzusammenhang verknüpfbar sowie zentral und dezentral auswert- und steuerbar macht (HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 13f.). Dabei hängen substitutive bzw. komplementäre Effekte auf Arbeitsaufgaben von der Rolle der Beschäftigten als Bediener- und

---

<sup>12</sup> Relevante Dimensionen des Technikdesigns sind beispielsweise der Grad der Systemautonomie und -transparenz, der Detaillierungsgrad der Datenvorgaben (von detaillierter Arbeitsanweisung bis informatorischer Arbeitsunterstützung) und die Eingriffsmöglichkeiten in den Systemablauf (HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 15ff.). Wengleich Technik auf eine Weise entworfen sein kann, die variierende Verwendungsspielräume zulässt, erlaubt jede Technik Beschäftigten gewisse „Nutzungsoptionen und Handlungskorridore“ (HIRSCH-KREINSEN 2021, S. 17f.).

<sup>13</sup> Zur Unterscheidung von Technik und Technologie, siehe Fußnote 9.

Warter\*innen der spezifischen Organisationstechnik sowie von der Einbindung und Verwendung der Technik als Strukturelement im Betriebsablauf ab.

Die Verknüpfung des sozio-technischen Systemansatzes mit dem ökonomischen task-Ansatz ermöglicht zum einen relevante Kontextfaktoren zu berücksichtigen. Zum anderen erlaubt es Komplementarität als Ergänzungsprozess menschlicher Kompetenzen und technischer Funktionalität zu verstehen und als Gegenpol zu Substitution zu definieren. Im Rahmen dessen argumentieren wir, dass (digitale) Technik Handlungsspielräume im sozialen Teilsystem zulassen und beschränken, nicht aber determinieren kann, da der Faktor Mensch mit spezifisch humanen Kompetenzen, Denk- und Handlungsweisen immer Teil des Arbeitssystems ist (siehe auch AMETOWOBLA 2020, S. 4). Substitution oder Komplementarität im Zusammenhang mit Arbeitsaufgaben werden somit auch nicht ausschließlich durch Technik determiniert. In der bisherigen ökonomischen Forschung zum technischen Wandel in der Arbeitswelt werden für den Technikeinsatz relevante Kontextfaktoren – beispielsweise die Art und Weise, wie Technik entwickelt und eingeführt wird – nur wenig berücksichtigt. Dabei könnte gerade die differenziertere Untersuchung betriebsinterner und -externer Merkmale Aufschluss darüber geben, welche digitale Technik eingesetzt wird und in welchem Kontext diese komplementär oder substitutiv wirkt. Ein besseres Verständnis des komplementären Verhältnisses von Mensch und Technik könnte auf Qualifizierungsbedarfe hinweisen, die sich nicht an der Vermeidung von Routineaufgaben abarbeiten, sondern am bereits vorhandenen Arbeitsvermögen (PFEIFFER/SUPHAN 2015) der Erwerbstätigen ansetzen, mit dem sie Komplexität und technischen Veränderungen begegnen.

### 3. Forschungsstand

#### 3.1. Task-Ansatz<sup>14</sup> und Substitutionspotenziale

Im englisch- und deutschsprachigen Raum gibt es mehrere Studien mit dem Ziel technikinduzierte Substitutionspotenziale zu ermitteln (z. B. AUTOR/LEVY/MURNANE 2003, BONIN/GREGORY/ZIERAHN 2015, DENGLER/MATTHES 2015, DENGLER/MATTHES 2018, FREY/OSBORNE 2013).<sup>15</sup> Seltener wird in den Blick genommen, inwiefern (digitale) Technik auch zu tatsächlich erfolgter Substitution einzelner Arbeitsaufgaben führt und weitere Beschäftigungsmerkmale verändert (eine Ausnahme bilden für die USA: FREEMAN/GANGULI/HANDEL 2020). Auch bleibt häufig unterbelichtet, inwiefern Technik und menschlich ausgeführte Arbeitsaufgaben sich gegenseitig ergänzen und somit Komplementaritäten aufweisen. Dies steht im Widerspruch zu einigen jüngeren Studien zum technischen Wandel, die der

---

<sup>14</sup> Wie in Kapitel 0 erläutert, übersetzen wir „task“ mit Arbeits-/Aufgabe. Folgend zitierte deutschsprachige Studien nutzen jedoch ausschließlich den Tätigkeitsbegriff.

<sup>15</sup> Für eine europäische/international vergleichende Perspektive siehe die Studien von NEDELKOSKA/QUINTIN (2018), FERNÁNDEZ-MACÍAS/HURLEY (2017), BALLIESTER/ELSHEIKHI (2018).

Veränderung bestehender Berufe größeres Gewicht bescheinigen, als ihrer Ersetzung (ARNTZ/GREGORY/ZIERAHN 2019, BESSEN u. a. 2019, DIEWALD/ANDERNACH/KUNZE 2020, HELMRICH u. a. 2016). Der Fokus auf die Ermittlung von Substitutionspotenzialen, also inwiefern Arbeitsaufgaben aufgrund ihrer Eigenschaften theoretisch durch (digitale) Technik ersetzt werden können, hängt zumeist mit einer eher technikdeterministischen Perspektive der Studien zusammen. Im Zusammenhang mit den Hypothesen zu Skill- und Routine-biased-technological change (SBTC, RBTC)<sup>16</sup> wird primär die Frage nach (zukünftigen) volkswirtschaftlichen Auswirkungen – wie Lohnveränderungen und Veränderung der Beschäftigungsstruktur – durch Technik gestellt. Vereinfacht postuliert die SBTC-Hypothese, dass neue Technik besonders die Produktivität von höher qualifizierten Arbeitskräften steigert, während sie die Aufgaben niedriger qualifizierter Arbeitskräfte ersetzt. Im Rahmen der RBTC-Hypothese wird (indirekt) angenommen, dass aus der Einführung einer bestimmten Technik auch eine bestimmte Form der Arbeitsorganisation resultiert (z. B. dass bestimmte Aufgaben nur noch durch digitale Technik erledigt werden) (kritisch dazu: LUTZ 1987) und Divergenzen zwischen Beschäftigten mit Nicht-Routine- und Routineaufgaben entstehen. Die Gestaltbarkeit von Technik und der damit verknüpften Arbeitsorganisation wird dabei aus unserer Sicht jedoch zu wenig berücksichtigt, obwohl es mit dem Konzept sozio-technischer Systeme entsprechende Anknüpfungspunkte gäbe, wie im Kapitel zuvor erläutert.<sup>17</sup> Nachfolgend diskutieren wir zunächst zentrale Beiträge zum task-Ansatz und darauf aufbauende Forschungen anhand des US-amerikanischen und deutschen Arbeitsmarktes, um im Anschluss Forschungslücken und -bedarf aufzuzeigen.

AUTOR/LEVY/MURNANE (2003) untersuchen in ihrer Studie den Wandel der Arbeitsaufgabenstruktur in den USA anhand von makroökonomischen Daten<sup>18</sup> und liefern damit den Anstoß zu umfangreichen Forschungen zum technikinduzierten Aufgabenwandel und folglich des task-Ansatzes. Die Autoren versuchen unter anderem zunehmende Lohnungleichheit in industrialisierten Ländern durch die sich verändernde Arbeitsteilung von Mensch und Maschine zu erklären. Dabei wird Arbeit als „a series of tasks to be performed, such as moving an object, performing a calculation, communicating a piece of information, or resolving a discrepancy“ (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003, S. 1282) verstanden. Autor und Kollegen analysieren in erster Linie das Substitutionspotenzial von Arbeitsaufgaben (tasks) unter Berücksichtigung des Einflusses der Computerisierung innerhalb der Erwerbssphäre. Sie kategorisieren tasks anhand zweier Dimensionen: Routine vs. Nicht-Routine und Manuelle vs. Kognitive tasks.

---

<sup>16</sup> Siehe dazu z. B. ACEMOGLU (1998), ACEMOGLU/AUTOR (2010), FERNÁNDEZ-MACÍAS/HURLEY (2017), GOLDIN/KATZ (2018), GOOS/MANNING/SALOMONS (2014). Für einen Überblick siehe SEBASTIAN LAGO/BIAGI (2018). Für aktuelle Beiträge zur Debatte in Europa und OECD Ländern siehe GREGORY/SALOMONS/ZIERAHN (2021), HASLBERGER (2021b).

<sup>17</sup> Aktuelle Veröffentlichungen (z. B. DENGLER/MATTHES 2021) zeigen jedoch ein steigendes Bewusstsein dafür, dass weitere Faktoren neben der technischen Automatisierbarkeit über die Ausschöpfung von Substitutionspotenzialen entscheidend sein können.

<sup>18</sup> Es werden Daten zu Arbeitsanforderungen aus dem „Dictionary of Occupational Titles“ (DOT), gepaart mit Erwerbstätigendaten aus dem „Census and Current Population Survey“ zwischen 1960 und 1998, genutzt.

Kognitive Nicht-Routine tasks sind wiederum nochmals spezifiziert in kognitiv-analytische und kognitiv-interaktive tasks. Autor et al. kommen zu dem Ergebnis, dass vorwiegend kognitive und manuelle Routineaufgaben ein bestimmtes Maß an Standardisierung, Regelmäßigkeit und Monotonie aufweisen und daher leicht formalisierbar bzw. programmierbar sind. Dadurch könnten diese tendenziell durch digitale Technik ersetzt werden. Hingegen könnten (kognitive und manuelle) Nicht-Routineaufgaben (noch) nicht durch digitale Technik ausgeführt werden, da sie nicht ausreichend formalisierbar sind. Die (noch) nicht formalisierbaren Arbeitsaufgaben erfordern unter anderem Flexibilität, Kreativität und Problemlösungskompetenzen, welche komplementär zum Einsatz digitaler Technik wirken, so die Autoren. Zwar etablieren Autor et al. in ihrem Forschungsansatz, dass Arbeitsplätze ein Bündel an verschiedenen Arbeitsaufgaben darstellen, zu kritisieren ist jedoch, dass sie in ihren Schlussfolgerungen Arbeitsplätze und die darin auszuführenden Nicht-/Routineaufgaben dennoch gleichsetzen.<sup>19</sup> Diese Betrachtungsweise vernachlässigt die teilweise heterogenen Arbeitsaufgaben auf Arbeitsplätzen, welche aus Kombinationen von Nicht-/Routineaufgaben bestehen können und damit in unterschiedlichem Ausmaß von Substitution betroffen sein können. Ebenso fokussieren sie zu selektiv auf einzelne Aufgabenbereiche (in diesem Fall Routineaufgaben) und vernachlässigen relevante übrige Arbeitsaufgaben sowie soziale Dimensionen der Art der Arbeitsausführung und -organisation (FERNÁNDEZ-MACÍAS/BISELLO 2021).

FREY/OSBORNE (2013) differenzieren das Aufgabenkonzept von AUTOR/LEVY/MURNANE (2003) nochmals und berücksichtigen technisch (noch) schwer-ersetzbare Arbeitsaufgaben, sogenannte engineering bottlenecks<sup>20</sup>, wie Wahrnehmung, Handhabung/Manipulation und soziale sowie kreative Intelligenz.<sup>21</sup> Mit der These, dass Entwicklungen künstlicher Intelligenz bereits jetzt potenziell alle tasks ersetzen können, die nicht bestimmten engineering bottlenecks unterliegen, gehen Frey und Osborne zudem über die Annahmen von AUTOR/LEVY/MURNANE (2003) hinaus. Letztere berücksichtigen lediglich Substitutionspotenziale für Routineaufgaben. Mit ihrem Anspruch, die Wahrscheinlichkeit der

---

<sup>19</sup> „Computer technology substitutes for workers in performing routine tasks that can be readily described with programmed rules, while complementing workers in executing nonroutine tasks demanding flexibility, creativity, generalized problem-solving capabilities, and complex communications.“ (AUTOR/LEVY/MURNANE 2003, S. 1322, Hervorhebung hinzugefügt).

<sup>20</sup> Engineering bottlenecks (technische Engpässe) sind laut Frey und Osborne Aufgabenbereiche, welche aktuell technisch nicht formalisierbar sind. Sie bestehen aus drei Aufgabenkategorien: a) „complex perception and manipulation tasks“, Aufgaben in unstrukturierten Arbeitsumfeldern und bei der selbstständigen Fehlererkennung und -behebung durch Roboter; b) „creative intelligence tasks“: Kreative Aufgaben, die kulturell sowie zeitlich variabel und streitbar sind und oft nicht expliziert und computerlesbar kodifiziert werden können; c) „social intelligence tasks“: Arbeitsaufgaben die Echtzeit-Erkennung menschlicher Emotionen und die Kompetenzen angemessen darauf reagieren zu können, erfordern (FREY/OSBORNE 2013, S. 23-27).

<sup>21</sup> Im Original: perception and manipulation tasks, creative intelligence tasks, and social intelligence tasks (FREY/OSBORNE 2013, S. 24ff.).

Computerisierung<sup>22</sup> von Berufen zu ermitteln, stehen Frey und Osborne vor dem Problem, dass Berufe institutionalisierte Aufgabenbündel darstellen (BECK/BRATER/DAHEIM 1980), welche aus mehreren einzelnen Arbeitsaufgaben mit unterschiedlichen Substitutionspotenzialen bestehen können. Bei der Aggregation der einzelnen Arbeitsaufgaben zu einem Aufgabenbündel können sich Aufgaben mit unterschiedlichem Substitutionspotenzial gegenseitig nivellieren, was die Aussagekraft über die Substitutionspotenziale ganzer Berufe schmälert. Trotz alledem konstatieren die Autoren, dass 47 Prozent der US-Arbeitsplätze in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten durch die Computerisierung gefährdet seien und ersetzt werden könnten.

Mit Blick auf den Operationalisierungsansatz der Studie wird auf Grundlage von Experten-/Expertinneneinschätzungen<sup>23</sup> die Ersetzbarkeit eines Berufes (0= nicht automatisierbar, 1= automatisierbar) prognostiziert. Dabei werden nur solche Berufe kategorisiert, bei deren Arbeitsaufgaben die Experten/Expertinnen besonders sicher sind, dass sie mit aktueller computergesteuerter Technik automatisiert werden könnten. Konkret wird dabei auf Daten des „Occupational Information Network“<sup>24</sup> (O\*NET) des U.S. Department of Labor von 2010 zurückgegriffen, die mit den 6-Stellern der Standard Occupational Classification (SOC) 2010 verknüpft werden. O\*NET stellt ein hierarchisch geordnetes System von Begriffen beruflicher Arbeitsaufgaben dar und wird vorwiegend für die Erstellung von Stellenbeschreibungen genutzt.<sup>25</sup> Geschätzt wird die Computerisierungswahrscheinlichkeit anhand von neun Items (wie Fingerfertigkeit, Geschicklichkeit, Körperhaltung, Wahrnehmungs- und Verhandlungsfähigkeiten), die die engineering bottlenecks beschreiben sollen. Der Transfer der geschätzten Computerisierungswahrscheinlichkeit hin zum Substitutionspotenzial eines Berufes ist jedoch aus folgenden Gründen zu kritisieren. Wie oben bereits erwähnt, sind Berufe als institutionalisierte Aufgabenbündel zu verstehen. Nicht jede einzelne Arbeitsaufgabe eines Berufs muss aber zwangsläufig ausgeübt werden, da es beispielsweise aufgrund betrieblicher Kontextfaktoren zu Unterschieden innerhalb desselben Berufs in verschiedenen Unternehmen kommen kann (BONIN/GREGORY/ZIERAHN 2015). BONIN/GREGORY/ZIERAHN (2015) übertragen die Studie von Frey und Osborne auf den deutschen Arbeitsmarkt und kommen bei

---

<sup>22</sup> Die Autoren definieren Computerisierung wie folgt: „We refer to computerisation as job automation by means of computer-controlled equipment.“ (FREY/OSBORNE 2013, S. 3).

<sup>23</sup> Neben den Autoren selbst bilden Forscher\*innen im Bereich Machine Learning die Experten-/Expertinnengruppe.

<sup>24</sup> [www.onetonline.org](http://www.onetonline.org)

<sup>25</sup> Die Beschreibungssystematik beruht jedoch ausschließlich auf Experten-/Expertinneneinschätzungen, welches zu teilweise nicht plausiblen Analyseergebnisse führen kann, wie die Autoren selbstkritisch anmerken (FREY/OSBORNE 2013, S. 29f.).

identischer Operationalisierung<sup>26</sup> auf 42 Prozent der deutschen Arbeitsplätze, welche durch die Computerisierung von Arbeitsaufgaben gefährdet seien. Im Vergleich zu FREY/OSBORNE (2013) betrachten BONIN/GREGORY/ZIERAHN (2015) Berufe nicht als homogen, sondern berücksichtigen die nötige Differenzierung zwischen Arbeitsplätzen und Arbeitsaufgaben. Wenn Arbeitsplätze als Bündelungen unterschiedlicher Arbeitsaufgaben verstanden werden, so ihre Argumentationslinie, unterscheidet sich das Substitutionspotenzial für Beschäftigte desselben Berufs je nach Aufgabenschwerpunkt. Die Auswertungen von BONIN/GREGORY/ZIERAHN (2015) zeigen, dass sich Aufgabenstrukturen von Berufen ähneln, die Frey und Osborne mit sehr verschieden großen Automatisierungsrisiken bewerten. Deshalb sei in den Daten kein eindeutiger Zusammenhang von Arbeitsaufgaben und Automatisierungswahrscheinlichkeit eines Berufs vorzufinden. Unter Berücksichtigung der landesspezifischen Aufgabenstrukturen<sup>27</sup> der jeweiligen Erwerbsberufe wird lediglich für zwölf Prozent der deutschen Arbeitsplätze ein hohes Automatisierungsrisiko prognostiziert. Zu den Effekten auf der Makroebene merken Bonin et al. an, dass das technische Automatisierungspotenzial von Arbeitsaufgaben nicht mit möglichen Beschäftigungseffekten gleichgesetzt werden kann. Technikeinsatz könne neue Arbeitsplätze schaffen sowie zu Arbeitsverlagerungen innerhalb von Arbeitsplätzen führen und somit komplementär wirken. Zudem seien makroökonomische Anpassungsprozesse, wie Veränderungen der Faktorpreise (beispielsweise das Erreichen der Gewinnschwelle von vollautomatisierten Systemen) und des Arbeitsangebots für gesamtgesellschaftliche Beschäftigungseffekte mit zu berücksichtigen (BONIN/GREGORY/ZIERAHN 2015, S. 1). Zuletzt ist zu kritisieren, dass Frey und Osborne weder auf potenzielle Komplementaritäten zwischen Computerkapital und menschlicher Arbeit eingehen, noch sekundäre Beschäftigungseffekte (wie Veränderungen von Arbeitsanforderungen und -organisation) berücksichtigen. So wird die Zahl der gefährdeten Arbeitsplätze und Berufe tendenziell überschätzt, wenn makroökonomische Anpassungswirkungen an die veränderte Inputzusammensetzung (z. B. die häufigere Nutzung digitaler Technik) vernachlässigt werden (ARNTZ/GREGORY/ZIERAHN 2018).

ARNTZ/GREGORY/ZIERAHN (2018) berücksichtigen sowohl makroökonomische Anpassungswirkungen als auch veränderte Inputzusammensetzung und entwickeln ein Strukturmodell zur Messung des Gesamteffektes des technischen Wandels auf die Beschäftigungs- und Lohnentwicklung in

---

<sup>26</sup> Die zwischen den beiden Ländern verschiedene Verteilung von Erwerbsberufen erklärt die unterschiedlichen Ergebnisse für Deutschland und der USA. Daneben können einzelne Berufe aus der Frey und Osborne Studie (SOC 6-Steller) im Rahmen der KldB 2010 3-Steller nicht eindeutig zugeordnet werden, sodass mehrere potentielle Automatisierungswahrscheinlichkeiten gleichverteilt gewichtet zugewiesen werden.

<sup>27</sup> Beispielsweise variieren die Anteile analytischer bzw. interaktiver Arbeitsaufgaben innerhalb derselben Berufsgruppen zwischen den USA und Deutschland. So geben beispielsweise Bürokräfte in Deutschland häufiger als in den USA an, analytische Arbeitsaufgaben auszuführen, während sie in den USA häufiger als in Deutschland interaktive Arbeitsaufgaben angeben.

Deutschland.<sup>28</sup> Dabei wird ein Strukturmodell mit verschiedenen makroökonomischen Wirk- und Anpassungskanälen geschätzt, in dem sowohl technikinduzierte Substitution von Arbeit durch Kapital als auch Komplementarität zwischen Arbeit und Kapital erfasst werden. Anhand der Modellergebnisse treffen Arntz et al. Aussagen zur Beschäftigungsentwicklung auf volkswirtschaftlicher Ebene und interpretieren die sinkende Nachfrage nach Arbeitskräften als Substitutionseffekt. Bei der Betrachtung der betrieblichen Arbeitsnachfrage gilt: „Je größer  $\eta$  [die Substitutionselastizität zwischen den Arbeitsaufgaben], desto leichter können Arbeitskräfte mit unterschiedlichen Berufen gegeneinander ausgetauscht werden“ (ARNTZ/GREGORY/ZIERAHN 2018, S. 32). Somit nehmen die Autor\*innen zwar auf den task-Ansatz Bezug, setzen jedoch letztlich – wie bei Frey und Osborne – Berufe und Arbeitsaufgaben gleich. Dieser Eindruck verstärkt sich, wenn Arntz und Kollegen die Berufsgruppen parallel zu den task-Kategorien einordnen: „Die Computerisierung hat vor allem manuelle und kognitive Routineberufe ersetzt, während sie analytische, interaktive, sowie manuelle Nicht-Routine-Berufe ergänzt hat“ (ARNTZ/GREGORY/ZIERAHN 2018, S. 68).

Auch DENGLER/MATTHES (2015) schätzen das Substitutionspotenzial eines Berufs über den Anteil typischerweise auszuführender Arbeitsaufgaben eines Berufes, welche zukünftig computerisiert erledigt werden können. Dafür nutzen sie – ähnlich wie Frey und Osborne – Informationen einer Experten-/Expertinnendatenbank, in diesem Fall die BERUFENET-Datenbank<sup>29</sup> der Bundesagentur für Arbeit. Anhand von Berufsbeschreibungen und der Einordnung „üblicher“ Berufsanforderungen<sup>30</sup> in Routine- und Nicht-Routine-Tasks<sup>31</sup>, schätzen Dengler und Matthes zukünftige Substitutionspotenziale für einzelne Berufe. Dabei stellen Nicht-Routine-Tasks Arbeitsanforderungen dar, welche zum Zeitpunkt der Analyse durch Computer oder computergesteuerte Maschinen ersetzbar sind. Sie kommen zum Ergebnis, dass 15 Prozent der im Jahr 2013 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in einem Beruf arbeiten, in dem mehr als 70 Prozent der Berufsanforderungen durch Computer oder computergesteuerte Maschinen ersetzt werden könnten. Mit Daten für das Jahr 2016 kommen sie zu dem Ergebnis, dass der Anteil von Beschäftigten, die in einem Beruf mit hohem Substitutionspotenzial arbeiten, von 15 auf 25 Prozent steigt. Begründet wird dies durch die Marktreife neuer Technologien

---

<sup>28</sup> Dafür nutzen sie aktuelle, retro- und prospektive Daten der IAB-ZEW Arbeitswelt 4.0 Betriebsbefragung, welche mit Beschäftigendaten, makroökonomischen Daten zu internationalen Handelsströmen und weiteren administrativen Daten der Bundesagentur für Arbeit verknüpft wurden.

<sup>29</sup> [www.berufenet.arbeitsagentur.de](http://www.berufenet.arbeitsagentur.de)

<sup>30</sup> In der BERUFENET-Datenbank bestehen die ermittelten „üblichen“ Arbeitsanforderungen eines Berufes aus einzelnen Fertigkeiten, Kenntnissen und Zusatzinformationen. Je nach Task-Kategorie wird angenommen, dass Computer und computergestützte Maschinen die jeweiligen Anforderungen zu einem bestimmten Anteil ersetzen können (vgl. DENGLER/MATTHES/PAULUS 2014, S. 12ff.).

<sup>31</sup> Detailliert wurde in analytische Nicht-Routine-Tasks, interaktive Nicht-Routine-Tasks, kognitive Routine-Tasks, manuelle Routine-Tasks und manuelle Nicht-Routine-Tasks unterschieden. Die Zuordnung erfolgte durch manuelle Zuordnung anhand bestimmter Grundregeln. Uneindeutige Anforderungen werden nicht zugeordnet und folglich ausgelassen (vgl. DENGLER/MATTHES/PAULUS 2014, S. 17f.).

(wie z. B. kollaborative Industrieroboter), die zuvor nicht formalisierbare Arbeitsaufgaben ersetzbar werden lassen (DENGLER/MATTHES 2018). Neueste Ergebnisse für das Jahr 2019 zeigen, dass das durchschnittliche Substituierbarkeitspotenzial nochmals von 25 auf 34 Prozent ansteigt (DENGLER/MATTHES 2021). Dies wird vorwiegend mit der marktreife neuer 4.0-Technologien, wie 3D-Druck, Block-Chain-Verfahren oder Virtual Reality-Anwendungen begründet. Dabei werden vor allem zuvor nicht ersetzbare Arbeitsaufgaben in Fachkraft- und Spezialist\*innenberufen als potenziell ersetzbar eingestuft. Die BERUFENET-Datenbank als empirische Grundlage der Dengler und Matthes-Studien ist – ebenso wie das O\*NET des U.S. Department of Labor – ein hierarchisch geordnetes System von Begriffen für die Beschreibung beruflicher Arbeitsaufgaben. Sowohl in der Studie von Frey und Osborne als auch in denen von Dengler und Matthes werden Experten-/Expertinneneinschätzungen genutzt, um Arbeitsaufgaben und daraus ableitend Berufe a priori als derzeit ersetzbar einzustufen oder nicht. Ob die Einschätzungen der Experten/Expertinnen zutreffend sind, steht nicht im Fokus der Studien und wird auch nicht empirisch gemessen.<sup>32</sup> Vielmehr sollen zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten dargelegt werden.

An die Prognose beruflicher Substitutionspotenziale schließen die Fragen an, inwiefern Substitution auf Berufs-, Arbeitsplatz- und/oder Aufgabenebene tatsächlich eintritt und ob parallel neue/andere Aufgaben entstehen bzw. stärker nachgefragt werden. Denn hinsichtlich der Substitutionspotenziale argumentieren Dengler und Matthes selbst, dass rechtliche, ethische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedingungen entgegenstehen können und Substitution nicht realisiert wird (DENGLER/MATTHES 2015, S. 23). Daneben lassen sich sowohl anhand volkswirtschaftlicher Strukturdaten (ACEMOGLU/RESTREPO 2018a, ACEMOGLU/RESTREPO 2019) als auch anhand von Individualdaten (GREGORY/SALOMONS/ZIERAHN 2021, MCGUINNESS/POULIAKAS/REDMOND 2019) „reinstatement effects“ zeigen, also die Schaffung neuer Arbeitsplätze und teilweise komplexerer Aufgaben durch Technischeinführungen. Diese können Ersetzungseffekte abfedern und durchaus als Komplementarität gedeutet werden.

Neuere Studien erweitern den bisher engen Fokus auf (Routine-)Aufgaben zu Gunsten eines gesteigerten Interesses an den technischen und organisationalen Bedingungen für (substitutive bzw. komplementäre) Mensch-Technik-Interaktion. REIMANN/ABENDROTH/DIEWALD (2020) argumentieren, dass Technik nach Art und Verwendung differenzierter betrachtet werden sollte. Dabei untersuchen sie gezielt die Art, den Zweck und den betrieblichen Einsatz von Technik und wie diese von Beschäftigten bewertet wird. Auch GENZ u. a. (2021) untersuchen die Art der verwendeten Technik und

---

<sup>32</sup> STORM (2020) kann zeigen, dass – in diesem Fall bei der Untersuchung von Lohnunterschieden – Surveydaten validere Ergebnisse liefern als Experten-/Expertinneneinschätzungen, da Aufgabenheterogenität auf individueller Ebene unterschätzt wird und dadurch Erklärungskraft verloren geht.

verknüpfen Beschäftigten- und Betriebsdaten. Sie analysieren den Zusammenhang von betrieblichem Digitalisierungsgrad (über 1.0- bis 4.0-Technologien) und (i) Arbeitseinkommen sowie (ii) Beschäftigungssicherheit und finden Unterschiede je nach beruflichem Anforderungsniveau. Besonders jüngere Beschäftigte sowie Beschäftigte in kaufmännischen Dienstleistungsberufen (insbesondere mit IT-bezogenen Aufgaben), die häufig hochkomplexe Experten-/Expertinnenaufgaben ausführen und eher beruflich als akademisch ausgebildet sind, profitieren vom Einsatz selbststeuernder oder IT-integrierter 4.0-Technologie (beispielsweise Künstliche Intelligenz, Internetplattformen, 3D-Druck) (GENZ u. a. 2021). Weitere Studien adressieren (gemeinsame) Effekte der betrieblichen Arbeitsorganisation und Technikeinführungen auf Arbeitsqualität (MOFAKHAMÍ 2021) (siehe auch Kapitel 3.3). GREGORY/SALOMONS/ZIERAHN (2021) finden Hinweise auf makroökonomische Wirkmechanismen des Routine-ersetzenden technischen Wandels in Europa. Sie zeigen, dass zwischen 1999 und 2010 erhebliche Schmälerungen der Arbeitsnachfrage (replacement effects) durch noch größere Steigerungen der Produktnachfrage kompensiert werden konnten (reinstatement effect). Dadurch konnten insgesamt mehr neue Arbeitsplätze geschaffen werden als wegfielen, obwohl diese Bilanz durch substantielle Renditenauflschläge der Unternehmen geschmälert werden.

Neben der Öffnung der Forschungsperspektive auf der Theorieseite, wird auch die Kritik an den bisherigen Operationalisierungen des Task-Ansatzes größer und im Forschungsdiskurs grundlegender artikuliert (z. B. FERNÁNDEZ-MACÍAS/BISELLO 2021, FERNÁNDEZ-MACÍAS/HURLEY 2017). So bezeichnet HASLBERGER (2021a: 3) die übliche Kategorisierung von Aufgaben in die fünf Kategorien von AUTOR/LEVY/MURNANE (2003) als „convenience turned convention“ und schlägt auf Basis der Europäischen Erhebung über die Arbeitsbedingungen (EWCS) zwei Operationalisierungen vor (Routine- und Aufgabenkomplexitätsindex), die berufliche Inhalte adäquater zu den SBTC- und RBTC-Hypothesen abdecken sollen. Gemein ist den in den letzten beiden Absätzen genannten Studien der Anspruch einer differenzierteren Betrachtung der Veränderungen von Arbeit durch den technischen Wandel. Im Vergleich zu aggregierten, beschäftigungs- und/oder einkommensentwicklungsorientierten Schwerpunktsetzungen bieten neuere Studien zu Mensch-Technik-Interaktionen somit breitere Erkenntnismöglichkeiten, welche zum besseren Verständnis des Zusammenwirkens unterschiedlicher Kontextfaktoren beitragen.

Zusammenfassend lässt sich in der bisherigen ökonomischen Forschung zum technischen Wandel von Arbeit ein quantitatives und eher Substitution betonendes Verständnis identifizieren. Attraktiv ist der ökonomische Ansatz deshalb, weil – unter Voraussetzung der Validität seiner Annahmen – Aussagen über eine größere Allgemeinheit, wie beispielsweise für Beschäftigte in Deutschland, in gewissen

Branchen oder Berufen, mit gewissen Qualifikationen, möglich sind.<sup>33</sup> Generell dienen ökonomisch geprägte Ansätze dazu, die potenzielle und zukünftige Verteilung von Aufgaben zwischen Menschen und Technik entlang einer quantitativ-ordinalen Skala von „mehr“, „weniger“ oder „gleich“ zu schätzen. Im Rahmen dessen wird Komplementarität – wenn überhaupt – als Zunahme einer bestimmten Arbeitsaufgabe parallel zur Technikeinführung identifiziert. Dagegen bedeutet die Abnahme einer Arbeitsaufgabe die Substitution durch Technik. Neuere Studien verschieben den theoretischen Fokus jedoch zunehmend auf die differenten Effekte unterschiedlichen Technikeinsatzes und die entsprechenden Rahmenbedingungen, während parallel – neben der Berechnung von Substitutionspotenzialen – über alternative Operationalisierungsansätze nachgedacht wird.

### 3.2. Forschungslücken- und bedarf

Aus den vorherigen Kapiteln lassen sich die folgenden Forschungslücken ableiten: (1.) wird deutlich, dass vorwiegend ökonomisch geprägte, quantitative Forschungen zu tasks und Substitutionspotenzialen eine interdisziplinäre Perspektive vermissen lassen. So werden beispielsweise arbeitssoziologische Forschungsansätze, wie das sozio-technische System, und damit einhergehend der Faktor Mensch im Kontext der Techniknutzung nicht ausreichend berücksichtigt. (2.) wird Komplementarität als Gegenpol zu Substitution tendenziell ausgeblendet bzw. nur nebensächlich berücksichtigt, sodass es kaum genauere Ergebnisse zu Komplementaritäten zwischen Arbeit und (digitaler) Technik gibt.<sup>34</sup> (3.) wird nur unzureichend zwischen Berufen, Arbeitsplätzen und Arbeitsaufgaben differenziert. Dies geht teilweise damit einher, dass sowohl Berufe als auch Arbeitsplätze nicht als Bündelung unterschiedlicher Arbeitsaufgaben verstanden, Heterogenitäten innerhalb von Berufen und Arbeitsplätzen vernachlässigt und Substitutionspotenziale somit verallgemeinernd prognostiziert werden. Vor diesem Hintergrund heben wir die notwendige Differenzierung von Substitution und Komplementarität in mehreren Hinsichten hervor: (1.) Substitution und Komplementarität sollten gemeinsam, aber auf Berufs-, Arbeitsplatz- und Aufgabenebene separiert betrachtet werden. (2.) Berufe und Arbeitsplätze müssen als institutionalisierte Aufgabenbündel verstanden werden, um auch heterogene Aufgabenprofile innerhalb von Berufen und Arbeitsplätzen zu berücksichtigen. Dies ist nochmals von größerer Relevanz, wenn davon ausgegangen wird, dass die Mensch-Technik-Interaktion bei der Verrichtung

---

<sup>33</sup> Betrachtungen auf Makroebene bilden Substitution und Komplementarität als aggregierte gesellschaftliche Effekte auf die Nachfrage nach Berufen und auf Beschäftigtenzahlen ab. Es bedarf aber Modellen auf Mikro- und Mesoebene, um die darunterliegenden Zusammenhänge bestimmter (digitaler) Technik mit bestimmten Arbeitsaufgaben zu erklären.

<sup>34</sup> Eine Ausnahme bildet hierbei die Studie von Aepli (2019), die untersucht, wie sich der technikinduzierte Aufgabenwandel auf skill-mismatch auswirkt und dabei explizit die Komplementarität von Technik mit analytischen Nichtroutine-Aufgaben testet.

einer Arbeitsaufgabe den Ursprung von Substitution und Komplementarität darstellt und von dieser ausgehend auf Arbeitsplätze und Berufe aggregiert werden kann. (3.) Technik sollte als heterogen verstanden und differenziert betrachtet werden. Dazu kommt, dass betriebliche und individuelle Kontextfaktoren von Technikeinsatz und Arbeitsaufgaben – welche Substitution und Komplementarität maßgeblich beeinflussen können – integriert und besser verstanden werden müssen. Dies gilt insbesondere für Merkmale der betrieblichen Arbeitsorganisation, welche – wie anhand des sozio-technischen Ansatzes dargestellt – für die erfolgreiche Mensch-Technik-Interaktion notwendig sind. (4.) in Studien postulierte Substitutionspotenziale (häufig auf Grundlage von Experten/Expertinneneinschätzungen) sollten retrospektiv gemessener Substitution (auf Grundlage quantitativ empirischer Daten) gegenübergestellt werden, um nicht-/realisierte Substitution evaluieren zu können. Die Analyse von tatsächlich erfolgter Substitution und Komplementarität kann zum einen verdeutlichen, warum Substitutionspotenziale nicht mit tatsächlich erfolgter Substitution gleichzusetzen sind, indem sie Hinweise auf mögliche hemmende sowie treibende Faktoren im betrieblich-organisatorischen, rechtlichen, ethischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereich offenlegen. Zum anderen kann solch ein Abgleich Hinweise auf komplementäre Aufgaben-Technik-Beziehungen liefern und Anstöße geben, welche Aufgaben und Kompetenzen durch den technischen Wandel in Zukunft gefragt sein werden, um entsprechende Weiterbildungs- und Qualifizierungsbedarfe abzuleiten.

### 3.3. Kontextfaktoren von Arbeitsaufgaben und Technikeinführung

Folgend werden theoretische Argumente und empirische Belege potenzieller Einflussfaktoren für komplementäre bzw. substitutive Mensch-Technik-Interaktion auf Aufgabenebene diskutiert (siehe Tabelle 1). Konkret identifizieren wir Faktoren, die jeweils einen Einfluss auf die Ausübung einer bestimmten Aufgabe sowie die Einführung einer bestimmten Technik haben könnten, da diese Faktoren die Analysegrundlage für das nachfolgende Kausalmodell darstellen.

*Tabelle 1: Kontextfaktoren von Arbeitsaufgaben und Technikeinführung*

<i>Ebene</i>	<i>Ins Modell aufgenommen</i>	<i>Nicht ins Modell aufgenommen</i>
überbetrieblich		Wettbewerb Politik
betrieblich	Branche Betriebsgröße Betriebliche Restrukturierung	Technisierung im Betrieb
individuell	Beruf Qualifikationsniveau Individuelle Kompetenzen Geschlecht Alter	

Quelle: eigene Darstellung

## Faktoren auf überbetrieblicher Ebene

### *Wettbewerb*

Marktbedingungen spielen eine wichtige Rolle für betriebliche Entscheidungen zum Technikeinsatz. In der Theorie führen Technologien, die eine bessere Kommunikation (intern, in der Logistik oder mit Kunden) ermöglichen sowie eine größere und schnellere Verfügbarkeit und Vernetzung von Daten gewährleisten können, zu Wettbewerbsvorteilen (BSPW. ARNTZ u. a. 2016b, S. 15, BMAS 2016, SCHRÖDER 2016). Versäumen Betriebe die Einführung marktrelevanter Techniken, laufen sie Gefahr, den Anschluss an die Konkurrenz zu verlieren. Dies scheint umso gewichtiger, je größer der Wettbewerbsdruck auf einen Betrieb ist. Demgegenüber können betriebsinterne Motivationen ein Gegengewicht bilden. Die Maximen, möglichst kostengünstig und risikoarm zu produzieren, sprechen kurzfristig eher gegen Experimente mit neuen, investitionsstarken Technologien (HIRSCH-KREINSEN 2015). Empirische Evidenzen belegen die Relevanz der Wettbewerbsbedingungen für den Technikeinsatz in Betrieben. In Deutschland streben 70 Prozent der Betriebe die Einführung digitaler Technik an, um konkurrenzfähig zu bleiben (HELMRICH u. a. 2016, S. 58f. ), wobei nur 37 Prozent angeben dadurch Wettbewerbsvorteile zu erlangen (BMW 2018, S. 52ff.). Daten des IAB-Betriebspanels von 2017 weisen darauf hin, dass sich Wettbewerbsdruck insbesondere positiv auf die Einführung von mobilen Endgeräten, computergesteuerter Prozessoptimierung, digitaler Verkaufskanäle, digitaler Auftragsvergabe und die Nutzung von Social Media zur Personalrekrutierung sowie zur internen und externen Kommunikation auswirkt (OHLERT/GIERING/KIRCHNER 2020).

Forschung zum Einfluss von Wettbewerb auf Arbeitsaufgaben, die nicht über den Technikeinsatz oder die betriebliche Prozessorganisation vermittelt ist, ist uns nicht bekannt.

### *Politik*

Durch rechtliche Beschlüsse und Subventionen beeinflusst die Politik die Rahmenbedingungen zur Einführung und Nutzung (digitaler) Technik am Arbeitsplatz. In Deutschland kann insgesamt aber eher nicht von einem direkten Einfluss der Politik auf Arbeitsaufgaben oder die betriebliche Technikeinführung gesprochen werden. In einem Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) werden bestehende betriebliche Mitbestimmungsorgane und die Konsensbildung innerhalb sozialpartnerschaftlicher Strukturen sowie die Bedeutung von Qualifizierung und Weiterbildung hervorgehoben (BMAS 2016). Allerdings versprechen verschiedene Investitionspläne, zum Beispiel im Rahmen des Corona-Wiederaufbaufonds der EU, finanzielle Anreize für digitalisierte Prozesse und Produktionsmethoden in der Automobilindustrie, die zu mehr Ressourcen- und Energieeffizienz führen sollen (BMF 2021). Inwiefern die Maßnahmen das Potenzial haben, die betriebliche Technikenutzung zu beeinflussen, wird sich noch zeigen. Sie gewinnen in jedem Fall an Bedeutung, auch auf supranationaler Ebene. So legte die EU-Kommission kürzlich einen Vorschlag für

eine Verordnung vor, mit der künftig die Einsatzmöglichkeiten für Künstliche Intelligenz (KI)-Anwendungen mit besonders hohem Risiko für grundlegende Rechte reguliert werden sollen (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2021). Sozialpartnerschaftliche Kollektivverträge und Arbeitnehmervertretungen als sozialpolitische Institutionen haben Gestaltungsmöglichkeiten und in bestimmten Fällen auch ein rechtliches Mitspracherecht, um betriebliche Digitalisierungsstrategien und Arbeitsaufgaben beeinflussen zu können. Dabei tendieren Arbeitnehmervertretungen, insbesondere im industriellen Sektor, immer häufiger dazu, den technischen Wandel als gemeinsamen und aktiven Gestaltungsprozess zu verstehen (co-determination), anstatt digitale Technik als Beschäftigungsrisiko gänzlich abzulehnen (für einen Überblick siehe OHLERT/GIERING/KIRCHNER 2020, S. 7f.). GENZ/BELLMANN/MATTHES (2019) weisen auf einen negativen Zusammenhang zwischen der Existenz von Betriebsräten und der digitalen Ausstattung im Betrieb hin, außer wenn der Anteil an Beschäftigten mit körperlich anstrengenden Aufgaben hoch ist. Auf der anderen Seite lassen sich zwischen der Nutzung digitaler Technik und der Existenz von Tarifverträgen keine systematischen Zusammenhänge finden (OHLERT/GIERING/KIRCHNER 2020).

#### Faktoren auf betrieblicher Ebene

##### *Branche*

Arbeitsaufgaben sowie der Grad der Techniknutzung unterscheiden sich systematisch nach Branche. Abgesehen von universell verbreiteten Techniken (beispielsweise Computer, Standard Bürosoftware, Telefon) werden in den jeweiligen Branchen spezifische (technische) Arbeitsmittel genutzt, um bestimmte Objekte zu bearbeiten bzw. mit Subjekten zu interagieren. Dabei sind zumeist bestimmte Arbeitsaufgaben mit einem bestimmten Objektbezug assoziiert (HELMRICH/TIEMANN 2015, PREDIGER/SWANEY 2004).<sup>35</sup> Beispielsweise interagieren Erwerbstätige in unterschiedlichen Branchen mit verschiedenen Objekten, wie Werkstoffen (Metall, Holz, Kunststoff), und Subjekten, wie Patient\*innen oder Kund\*innen, zur Erbringung der branchenspezifischen Arbeitsaufgaben (z. B. Herstellen, Produzieren von Waren und Gütern oder Pflegen, Betreuen, Ausbilden). Daher kann die Branche als Annäherung an den jeweiligen Objektbezug dienen und die Ausprägung bestimmter Arbeitsaufgaben und benötigter Technik variieren und mitbestimmen. Zudem weist GENZ (2021: 61f.) nach, dass es in der beruflichen Zusammensetzung der Belegschaft ausgeprägte Heterogenitäten zwischen Betrieben sowie Branchen gibt. Die Mehrheit der Betriebe beschäftigt Erwerbstätige einer bestimmten Aufgabengruppe, wobei der Schwerpunkt der Aufgaben je nach Betrieben sowie Branchen variiert.

---

<sup>35</sup> PREDIGER/SWANEY (2004) unterscheiden in diesem Kontext zwischen den Dimensionen „people vs. things“ und „data vs. ideas“, die sich je Branche unterschiedliche ausprägen.

Zudem ergeben sich im Rahmen einer branchenspezifischen Techniknutzung unterschiedliche Substitutionspotenziale (HIRSCH-KREINSEN 2015, PFEIFFER 2017). Inwiefern es in Branchen mit hohem Substitutionspotenzial zu Substitution und/oder Komplementarität kommt, ist eine noch nicht ausreichend beantwortete Frage. Empirisch lässt sich lediglich zeigen, dass der Digitalisierungsgrad (siehe nächster Absatz), welcher mit dem Substitutionspotenzial korreliert, in Informations- und Kommunikationstechnologie-Branchen (IKT-Branchen) am höchsten ist, gefolgt von wissensintensiven Dienstleistungen, dem Finanz- und Versicherungswesen, der Automobilindustrie und dem Gesundheitssektor (ARNTZ u. a. 2016b, BMWi 2021, OHLERT/GIERING/KIRCHNER 2020). Dabei stechen besonders die Elektrotechnik-/Maschinenbau- und Fahrzeugbranche durch intensive Forschungs- und Innovationsaktivitäten heraus, während die IKT-Branche gegenüber allen anderen Branchen durch einen hohen Anteil digitaler Produkte, Beschäftigungsausbau und -weiterbildung im Bereich IT sowie durch ein innovatives Arbeitsumfeld heraussticht (BMWi 2021, S. 94ff.).

#### *Technisierung im Betrieb*

Die Verbreitung, Vernetzung und Nutzung (digitaler) Arbeitsmittel und somit der Automatisierungs- und Digitalisierungsgrad wirken sich auf die weiteren Digitalisierungsschritte im Betrieb und am Arbeitsplatz aus. Technik, die bereits eingeführt wurde, wird nicht nochmals eingeführt und im Rahmen von Pfadabhängigkeiten tendenziell erneuert oder ergänzt (HIRSCH-KREINSEN 2018b). Eine neue Software muss beispielsweise in die bestehende IT-Systemlandschaft eines Betriebes integriert werden. Dafür müssen sowohl vorhandene als auch neue Software über entsprechende Schnittstellen verfügen. Zum Verhältnis von Technik und Arbeitsmitteln ist anzumerken, dass die Einführung einer neuen Technik zwar ein neues Arbeitsmittel darstellen kann, die Technik selbst jedoch nicht als Arbeitsmittel dienen muss. Andere Möglichkeiten des Technikeinsatzes bestehen beispielsweise in der gänzlichen Ersetzung von Arbeitsaufgaben oder in der Verwendung als Organisationstechnologie zur Planung, Steuerung oder Kontrolle von Prozessen (HIRSCH-KREINSEN 2018a).

Der Zusammenhang zwischen betrieblicher Technisierung und Arbeitsaufgaben stellt sich komplexer dar. Einerseits erfordern unterschiedliche Arbeitsaufgaben – verknüpft mit dem jeweiligen Berufs- und Branchenkontext – unterschiedlich technisierte Arbeitsmittel. Beispielsweise nutzen Beschäftigte in Gesundheitsberufen aufgrund ihrer Arbeitsaufgaben Mess- und Diagnosegeräte häufiger als Personen in Produktions- und Fertigungsberufen, welche wiederum häufiger Anlagen, Maschinen und Werkzeuge nutzen (siehe z. B. GÜNTÜRK-KUHL/LEWALDER/MARTIN 2019). Ebenso nutzen Beschäftigte im primären und sekundären Wirtschaftssektor überdurchschnittlich häufig Fahrzeuge und Transportmittel sowie Maschinen, während Beschäftigte im tertiären Sektor u. a. überdurchschnittlich häufig Software am Arbeitsplatz nutzen (GÜNTÜRK-KUHL/LEWALDER/MARTIN 2019). Umgekehrt prägt die Technisierung am Arbeitsplatz auch auszuführende Arbeitsaufgaben. Hoch digitalisierte Arbeitsplätze

erfordern andere Arbeitsschritte zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe, aber auch andere Arbeitsaufgaben als Arbeitsplätze mit niedrigem Digitalisierungsgrad. Grund dafür ist, dass technischer Wandel sowohl Arbeitsumfeld, -mittel als auch -prozesse verändert. So kommt es im Zuge der Digitalisierung von Arbeit häufiger zur Reallokation von Arbeitsaufgaben, zu neuen Herstellungsverfahren, veränderten Wertschöpfungsketten und Endprodukten (SEYDA/MEINHARD/PLACKE 2018, S. 108). Zudem entstehen teilweise neue (digitale) Geschäftsmodelle (PLASS 2020). Somit werden durch den Technikgebrauch Arbeitsaufgaben flächendeckend beeinflusst (VGL. MÜNCHHAUSEN/SCHMITZ/SCHÖNFELD 2021, S. 7, SEYDA/MEINHARD/PLACKE 2018, S. 109).

Wenn Arbeitsaufgaben die Nutzung digitaler Arbeitsmittel beeinflussen und jene wiederum Arbeitsaufgaben verändern sowie die Einführung neuer (digitaler) Technik beeinflussen, ergibt sich das Problem umgekehrter Kausalität. Obwohl dies theoretisch nicht ausgeschlossen werden kann, argumentieren wir, dass Technikeinführungen am Arbeitsplatz einen stärkeren Einfluss auf Arbeitsaufgaben ausüben als umgekehrt. Wir nehmen an, dass Betriebe neue Technik einführen, um primär die Arbeitsproduktivität zu erhöhen. Einzelne Arbeitsaufgaben von Beschäftigten werden dementsprechend neu-/organisiert und der Wertschöpfungskette angepasst. Eigens durchgeführte (deskriptive) Analysen mit dem BIBB-Qualifizierungspanel 2016 (GERHARDS/FRIEDRICH 2018) stützen diese Argumentation. Neun von zehn Betrieben nutzen digitale Technologien vorwiegend, um Kundenkontakte und die Produktivität der Prozesse zu verbessern. Sieben von zehn Betrieben nutzen sie, um konkurrenzfähig zu bleiben oder die Kooperation mit Kunden oder Zulieferern effizienter zu gestalten. Dagegen nennen nur wenige Betriebe Gründe, die sich direkt auf die Beschäftigten beziehen und auf einen Einfluss von Arbeitsaufgaben auf Technikeinführung hindeuten. Nur gut jeder zweite Betrieb möchte mit Hilfe digitaler Technologien Personalkosten einsparen (54 Prozent) und nur gut jeder dritte Betrieb versucht damit die erfolglose Suche nach Fachkräften auszugleichen (37 Prozent) oder die Kosten für Weiterbildungen einzusparen (32 Prozent).

Darüber hinaus gehen wir davon aus, dass der potenzielle Einfluss einer neuen Technik auf Arbeitsaufgaben von der bisherigen digitalen Ausstattung am Arbeitsplatz abhängt. Verwenden Beschäftigte beispielsweise überwiegend manuell gesteuerte und/oder nicht IT-gestützte Arbeitsmittel (wie Bohrmaschinen, Telefone, Kopiergeräte), hat die Einführung einer selbststeuernden, IT-integrierten Technik (wie Cyber-Physische Systeme, Internetplattformen oder digitale Analysetools zur Auswertung von Big Data) mutmaßlich größeren Einfluss auf die Arbeitsgestaltung und somit auf die Häufigkeit bestimmter Arbeitsaufgaben, als wenn die Beschäftigten zuvor schon mit indirekt gesteuerter, IT-gestützter Technik (wie CNC-Maschinen, Computern, elektronischen Kasse) gearbeitet hätten.

### *Betriebsgröße*

Empirische Erkenntnisse zeigen, dass vor allem größere Firmen einen höheren Digitalisierungsgrad aufweisen. Dabei hängt das Ausmaß häufig mit der jeweiligen Branche zusammen. Beispielsweise sind Unternehmen in der Fahrzeugbranche eher Großunternehmen und verfügen über ein hohes Maß an digitalisierter Arbeit (BMW 2021, S. 98ff.). Größere Unternehmen verfügen nicht nur über mehr finanzielle und personelle Ressourcen, die die Einführung und Wartung von Technik erleichtern können. Sie können auch größere Skaleneffekte bzw. Produktivitätssteigerung realisieren (HIRSCH-KREINSEN 2015, S. 23). Kleinere Firmen hingegen erwarten kaum Produktivitätsvorteile bzw. eine Kostenreduktion durch die Einführung neuer Technik (ARNTZ u. a. 2016b). Die Betriebsgröße ist positiv mit dem Technikeinsatz assoziiert (HELMRICH u. a. 2016, OHLERT/GIERING/KIRCHNER 2020) und sektorspezifisch abhängig.

Dies lässt sich mit der Erkenntnis verknüpfen, dass die Digitalisierung der Arbeit tendenziell dazu führt, dass sich die (betriebliche) Arbeitsteilung durch die vermehrte Techniknutzung weiter ausdifferenziert, was häufiger in größeren Betrieben der Fall sein wird. Die Ausdifferenzierung hat wiederum zur Folge, dass (vor allem höherqualifizierte) Beschäftigte häufiger einzelne Arbeitsaufgaben ausführen, für die hochspezialisierte Kompetenzen benötigt werden (KÖHNE-FINSTER u. a. 2020, S. 107f.). Aufgrund dessen wird angenommen, dass sich das Aufgabenspektrum und der Spezialisierungsgrad nach Betriebsgröße unterscheiden, da größere Betriebe mehr und/oder ein größeres Spektrum an Dienstleistungen und Produkten anbieten und dadurch auch das Aufgabenspektrum insgesamt breiter ausfällt.

### *Betriebliche Restrukturierung*

Die Einführung einer neuen Technik kann mit verschiedenen betrieblichen Organisationsprozessen bzw. Restrukturierungen einhergehen. Zum Beispiel können Betriebe einzelne Unternehmensteile betriebsintern verlagern oder gänzlich auslagern (outsourcing), um Kosten einzusparen (z. B. wenn im Ausland geringere Lohnkosten anfallen) (GROSSMAN/ROSSI-HANSBERG 2008). Um die ausgelagerten Arbeitsprozesse weiterhin in die betriebliche Wertschöpfungskette einzubinden, kann neue Kommunikations-, Transport- und/oder Verarbeitungstechnik nötig werden. Ebenso ist denkbar, dass Betriebe oder einzelne Abteilungen eines Betriebes miteinander fusionieren, um ihre Marktmacht auszubauen (BAKER/BRESNAHAN 1985) und Beschäftigte aufgrund dessen mit neuer Technik in ihrem Arbeitsumfeld in Berührung kommen. Des Weiteren gehen (internationale) Expansion und (digitaler) Technikeinsatz häufig miteinander einher, um die Kommunikation zwischen Muttergesellschaft im Heimatland und internationalen Zweigstellen zu gewährleisten (VADANA u. a. 2020). Werden solche Formen betrieblicher Organisation nicht berücksichtigt und verändern sich die Arbeitsaufgaben dadurch parallel, dann könnten die Veränderungen fälschlicherweise als Substitution oder Komplementarität interpretiert werden.

Andererseits können Technikeinführungen auch die betriebliche Arbeitsorganisation beeinflussen. Um eine bessere Ausschöpfung der Produktions-, Dienstleistungs- und Wissenskapazitäten im Rahmen von Technikeinführungen zu gewährleisten, erfordern diese häufig komplementäre Investitionen in Personal und betriebliche Umstrukturierungen (BRYNJOLFSSON/ROCK/SYVERSON 2019, DEDRICK/GURBAXANI/KRAEMER 2003, JORGENSEN/HO/STIROH 2008). GENZ (2021: 61f.) legt für Deutschland dar, dass – neben der Technisierung des Arbeitsumfeldes – das Outsourcing manueller Dienstleistungsaufgaben aus den Betrieben die Verbreitung nicht-routinemäßiger kognitiver Arbeitsaufgaben in den letzten Jahrzehnten beschleunigt und die Aufgabenstruktur verändert hat. Für die USA zeigen BRYNJOLFSSON/HITT (2003), dass Produktivitätszuwächse durch IT-Investitionen ein Jahr nach Investitionszeitpunkt gering waren, mit der Zeit stiegen und ihren Höhepunkt nach ca. sieben Jahren erreichten. Diese Entwicklung erklären sie mit der Notwendigkeit für Betriebe, ihre Geschäftsprozesse komplementär zu technischen Einführungen (z.B. Unternehmensplanungssysteme) umzugestalten. In diesem Zusammenhang betont HIRSCH-KREINSEN (2018a: 15ff.) die Organisationsfunktion digitaler Technik als besonders interessanten Fall gestaltungsrelevanter Technik. Organisationstechnologie übernimmt vormals (vom sozialen Teilsystem) organisatorisch erbrachte Planungs-, Steuerungs-, und Kontrollverfahren. Wie sehr die Organisationstechnologie die Struktur für Arbeit vorgibt und ob daraufhin eher tayloristische oder ganzheitliche Aufgabenzuschnitte entstehen, hängt aber auch maßgeblich von der Prozessstandardisierung, den Einführungsmodalitäten für Technik, der betrieblichen Personalgestaltung sowie dem Qualifikationsniveau der Beschäftigten ab (HIRSCH-KREINSEN 2018a, S. 21f.).

Zudem gibt es empirische Studien zu betrieblichem Wandel und Arbeit, die technische und organisatorische Veränderungen in Betrieben gemeinsam untersuchen (BATTISTI/DUSTMANN/SCHÖNBERG 2017, BRESNAHAN/BRYNJOLFSSON/HITT 2002, MOFAKHAMI 2021). Mit US-Daten belegen BRESNAHAN/BRYNJOLFSSON/HITT (2002), dass die Faktornachfrage, die Produktivität und der Fachkräfteanteil in Betrieben durch eine Kombination von Investitionen in i) Informationstechnik, ii) komplementäre Umstrukturierungen am Arbeitsplatz und iii) neue Produkte und Dienstleistungen maßgeblich gesteigert werden. Die Ergebnisse deuten auf eine sich komplementär verstärkende Wirkung der drei Investitionsformen hin. Aus einer qualitativen Perspektiven analysiert MOFAKHAMI (2021) die Arbeitsqualität im Zusammenhang mit der betrieblichen Arbeitsorganisation und Innovationen am Arbeitsplatz (Einführung neuer Technik) und kann nachweisen, dass die Arbeitsorganisation vertragliche und subjektive Arbeitsbedingungen (i) direkt und (ii) indirekt über ihren Einfluss auf Technikeinführung am Arbeitsplatz beeinflusst. Dies deutet auf positive Effekte neuer Technik für die Bezahlung, Arbeitsplatzsicherheit und physische Belastung von Beschäftigten hin, die auch von der betrieblichen Arbeitsorganisation abhängen. Zuletzt zeigen Analysen einer Beschäftigtenbefragung in Deutschland, dass Beschäftigte die Digitalisierung als Treiber für aktuelle

und künftige Umstrukturierungen ihrer Arbeit sehen (REIMANN/ABENDROTH/DIEWALD 2020, S. 18). Übergreifend legen die Forschungsergebnisse nahe, dass die betriebliche Organisation und insbesondere Restrukturierungen im unmittelbaren Arbeitsumfeld Arbeitsaufgaben und deren Zusammensetzung beeinflussen können und in unser Modell aufgenommen werden sollten.

## Faktoren auf individueller Ebene

### *Beruf*

Versteht man den ausgeübten Beruf im Sinne des task-Ansatzes als Aufgabenbündel, folgt daraus, dass sich Arbeitsaufgaben sowie der Grad der Techniknutzung systematisch je Beruf sowie innerhalb von Berufen unterscheiden. So bedingen gewisse Berufe gewisse Arbeitsaufgaben (z. B. Bäcker\*innen stellen Backwaren her und Polizeivollzugsbeamte/-beamtinnen überwachen bestimmte Regionen). Berufe innerhalb derselben Berufsgruppe sind keineswegs homogen. Sie können sich individuell, betrieblich und je Digitalisierungs- und Anforderungsniveau nochmals unterteilen (GENZ/SCHNABEL 2021).

Technikeinführungen variieren ebenso wie Arbeitsaufgaben mit dem Beruf und Anforderungsniveau. Berufe als Aufgabenbündel sind mit der Nutzung bestimmter Technik assoziiert. Generell kommen Personen mit höherem beruflichen Anforderungsniveau häufiger mit digitaler Technik in Kontakt als Personen mit niedrigem Niveau (GÜNTÜRK-KUHL/LEWALDER/MARTIN 2019, S. 19).

### *Qualifikationsniveau*

Je nach Qualifikationsniveau werden unterschiedliche Aufgaben unterschiedlich häufig ausgeführt. Auf der einen Seite nimmt die Wahrscheinlichkeit komplexere Arbeitsaufgaben (beispielsweise organisatorische Aufgaben, wie managen und koordinieren) auszuführen mit steigendem Qualifikationsniveau zu. Auf der anderen Seite erfordert der Zugang zu bestimmten Berufen – besonders in Deutschland – aus segmentationstheoretischer Perspektive ein bestimmtes Qualifikationsniveau (LUTZ/SENGENBERGER 1974). Unter der oben aufgeführten Annahme, dass sich Arbeitsaufgaben je Beruf systematisch unterscheiden, werden sich die Arbeitsaufgaben auch je Qualifikationsniveau auf vertikaler Ebene voneinander unterscheiden.<sup>36</sup> Beispielsweise werden Gesellen/Gesellinnen teilweise andere Arbeitsaufgaben ausführen als Meister\*innen. Parallel erfordern Berufe unterschiedliche Qualifikationsniveaus, sodass Beruf und Qualifikationsniveau teilweise miteinander verknüpft sind und sich die Arbeitsaufgaben in den jeweiligen Berufen je Qualifikationsniveau voneinander unterscheiden.

---

<sup>36</sup> Wenn auch nicht von einem deterministischen Zusammenhang zwischen Qualifikationsniveau und Ausführung bestimmter Arbeitsaufgaben ausgegangen werden kann, da generell die Möglichkeit besteht, dass Personen mit niedrigem Qualifikationsniveau höhere/komplexere Aufgaben übernehmen.

Die betriebliche Techniknutzung unterscheidet sich je nach Qualifikationsniveau der Beschäftigten. Mit steigendem Qualifikationsniveau der Beschäftigten verfügen Unternehmen häufiger über stationäre und mobile Endgeräte und komplexere digitale Technik. Ebenso nutzen Unternehmen häufiger Software zur Prozessoptimierung, zur internen und externen Kommunikation, digitale Absatzkanäle und soziale Netzwerke zur Kommunikation und Personalgewinnung, wenn hohe Anteile ihrer Beschäftigten hochqualifiziert sind (OHLERT/GIERING/KIRCHNER 2020).

### *Individuelle Kompetenzen*

Wie bereits im Rahmen der Komplementaritätsdefinition erläutert (siehe Kapitel 2.1), nehmen wir an, dass gewisse Kompetenzen zur Verrichtung bestimmter Arbeitsaufgaben und zum Umgang mit einzelnen Arbeitsmitteln als Voraussetzung vorhanden sein müssen. Dies impliziert parallel, dass auch bestimmte Kompetenzen als Voraussetzung für die Einführung neuer Technik vorhanden sein müssen, da Technik zu einem bestimmten Grad implementiert, bedient, gewartet und/oder überwacht werden muss (UMBACH u. a. 2020, S. 188ff.). Wir argumentieren, dass als Voraussetzung für Technikeinführungen Grundkompetenzen in den Bereichen Technik, Mathematik/Statistik, Deutsch/Rechtschreibung, Englisch und grundlegende Kenntnisse im Umgang mit Computer und Internet vorhanden sein müssen, um mit Technik umgehen zu können (HELMRICH/LEPPELMEIER 2020). Dagegen können sich verändernde Kompetenzanforderungen bereichsübergreifender, überfachlicher, sozialer und personaler Kompetenzen eher als Folge von Technikeinführungen und den damit einhergehenden Entwicklungen betrachtet werden. Dies trifft beispielsweise zu, wenn der Umgang mit bestimmten Technikformen (z. B. Softwareprogrammen) per „learning-by-doing“ oder „training on the job“ erlernt oder zumindest verbessert wird. Denn ein sicherer und produktiverer Umgang mit komplexer und hochspezialisierter Technik erfordert spezifischere Kompetenzen z. B. in Form eines gewissen Systemverständnis und Überblickswissens, um beispielsweise flexibel und angemessen auf etwaige technische Störungen reagieren zu können (UMBACH u. a. 2020, S. 189). Ergebnisse von ARNTZ u. a. (2016a) auf Basis einer Betriebsbefragung in Deutschland legen nahe, dass die Nutzung digitaler Technik (speziell 4.0-Technologien) vor allem den Bedarf an bereichsübergreifenden Kompetenzen und überfachlichen Fähigkeiten, wie Prozessknowhow, Interdisziplinarität bei der Arbeit, Problemlösungskompetenz, personale und soziale Kompetenzen, sowie an einer höheren geistigen Belastungstoleranz und kontinuierlichen Lernbereitschaft erhöht.

### *Geschlecht*

Abgesehen von einer ungleichen Aufteilung der Geschlechter in Branchen und Berufen, nehmen wir an, dass Männer und Frauen im selben Beruf bzw. in derselben Branche unterschiedliche Arbeitsaufgaben ausführen. Dies ist u. a. auf Diskriminierungs- und Selbststereotypisierungsprozesse zurückzuführen. So wird Frauen häufiger unterstellt, dass sie mehr an der Arbeit mit Personen

interessiert seien, während Männer vermeintlich eher nach der Erledigung von Aufgaben streben. Durch solche Art von normativen Vorurteilen werden geschlechtstypische Klischees von „typisch männlich und weiblich“ in Form von Geschlechtsstereotypen produziert und reproduziert (KUTZNER 2017, S. 135). Dies kann sich in unterschiedlichen Aufgabenprofilen von Männern und Frauen widerspiegeln. Zusätzlich können FANA/VILLANI/BISELLO (2021) für Frankreich zeigen, dass Frauen und Männer trotz gleichen Berufs unterschiedliche Aufgaben ausführen, unabhängig von Bildungsgrad, des Alter und der Dauer der Betriebszugehörigkeit. Frauen führen seltener physische Aufgaben aus, obwohl diese in weiblich dominierten Berufen zunehmen. Ebenso führen sie seltener intellektuelle und organisatorische Aufgaben aus (wie managen und koordinieren) als Männer.

Parallel werden Frauen im Umgang mit Technik systematisch benachteiligt. Zum einen wird Männern zumeist eine größere digitale und technische Kompetenz zugeschrieben als Frauen (HAUER/HOFMANN/SAUER 2017, S. 120) und häufig neigen Frauen dazu, sich aufgrund geschlechtsspezifischer Sozialisations- und Selbststereotypisierungsprozesse weniger kompetent einzuschätzen als Männer (KOCH/MÜLLER/SIEVERDING 2008), sodass sie auch deswegen seltener mit Technik in Kontakt kommen (OHLERT/BOOS 2020). Beispielsweise nutzen vollzeitarbeitende Frauen, die in einem Büro arbeiten, durchschnittlich weniger digitale Endgeräte am Arbeitsplatz (z. B. Laptop, Smartphone, Videokonferenzdienst, VPN-Zugang, Tablet, etc.) als Männer in selber Position (KASTE u. a. 2020, S. 18).

#### *Alter*

Wir argumentieren, dass sich mit dem Alter auch die auszuführenden Arbeitsaufgaben verändern. Beispielsweise werden junge Beschäftigte kurz nach der Berufsausbildung andere Aufgaben ausführen als erfahrene Beschäftigte. Einerseits haben junge Beschäftigte noch nicht die Möglichkeit gehabt, entsprechende Arbeits-/Erfahrungen zu sammeln, in der Karriereleiter aufzusteigen und entsprechend andere Aufgaben zu erledigen (z. B. mehr Organisations- anstatt Produktionsaufgaben). Zudem kann die Leistungs- und Belastungsfähigkeit mit dem Alter abnehmen, sodass beispielsweise seltener physisch und psychisch belastende Aufgaben ausgeführt werden können (FRERICHS 2015, S. 205f.).

Sowohl Technikzugang, -verständnis als auch -bewertung im Alltag unterscheiden sich je nach Altersgruppe (JAKOBS/LEHNEN/ZIEFLE 2008, KOLLAND/WANKA/GALLISTL 2019). Wir gehen davon aus, dass sich dies auf die berufliche Nutzung digitaler Endgeräte übertragen lässt und je nach Alter unterschiedliche Techniknutzung resultiert.

## 4. Daten und empirisches Modell

Durch die Übertragung unseres theoretischen Konzepts in ein quantitativ empirisches Modell können wir Substitutions- und Komplementaritätseffekte zwischen einzelnen Arbeitsaufgaben und (digitaler)

Technikeinführung direkt, gezielt und auf Individualebene ansteuern. Einerseits vermeiden wir dadurch aggregierende und verallgemeinernde Aussagen, andererseits können wir trotzdem übergreifende Kontextfaktoren (wie Betriebs-, Branchen- und Berufsfaktoren) miteinbeziehen. Im Anschluss lassen sich die Ergebnisse differenziert aggregieren. Durch Interaktionsterme besteht zusätzlich die Möglichkeit, Effekte für einzelne Gruppen (z. B. Hochqualifizierte) separiert zu betrachten.

#### 4.1. Daten und Methodik

Anhand von Daten der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung (ETB) aus dem Jahr 2018 (HALL/HÜNEFELD/ROHRBACH-SCHMIDT 2020) schätzen wir den Effekt von Technikeinführungen auf die Veränderungen einzelner Arbeitsaufgaben. Die ETB 2018 ist eine Querschnitterhebung, welche 20.000 Kernerwerbstätige in Deutschland umfasst, die mindestens zehn Stunden in der Woche gegen Bezahlung arbeiten. Unsere Stichprobe ist begrenzt auf Personen zwischen 16 und 75 Jahren, die regulär als Arbeiter\*innen, Angestellte oder Beamte/Beamtinnen beschäftigt sind.

*Tabelle 2: Arbeitsaufgaben in der Erwerbstätigenbefragung 2018*

<i>Arbeitsaufgaben<sup>37</sup> (in %)</i>	<i>nie</i>	<i>manch- mal</i>	<i>häufig</i>	<i>Gesamt (n=100%)</i>
Herstellen, Produzieren von Waren und Gütern	81,8	6,6	11,7	17.685
Messen, Prüfen, Qualität kontrollieren	28,6	27,3	44,1	17.696
Überwachen, Steuern von Maschinen, Anlagen, technischen Prozessen	61,8	16,8	21,5	17.686
Reparieren, Instandsetzen	63,3	24,5	12,3	17.693
Einkaufen, Beschaffen, Verkaufen	55,2	26,3	18,5	17.691
Transportieren, Lagern, Versenden	54,3	26,5	19,2	17.690
Werben, Marketing, Öffentlichkeitsarbeit, PR	58,0	31,3	10,7	17.688
Organisieren, Planen, Vorbereiten v. Arbeitsprozessen	20,6	29,4	49,9	17.688
Entwickeln, Forschen, Konstruieren	59,1	24,5	16,4	17.688
Ausbilden, Lehren, Unterrichten, Erziehen	35,6	37,4	27,0	17.692
Informationen sammeln, Recherchieren, Dokumentieren	8,4	23,6	67,9	17.693
Beraten und Informieren	8,7	24,6	66,8	17.693
Bewirten, Beherbergen, Speisen bereiten	80,5	11,2	8,3	17.693
Pflegen, Betreuen, Heilen	75,7	7,7	16,5	17.689
Sichern, Schützen, Bewachen, Überwachen, Verkehr regeln	64,2	15,5	20,3	17.678
Arbeiten mit Computern	0,0	14,0	86,0	17.698
Nutzung des Internet oder E-Mails bearbeiten	10,6	16,8	72,6	15.654
Reinigen, Abfall beseitigen, Recyceln	58,3	23,2	18,5	17.694

Quelle: eigene Berechnungen, gewichtete Daten, ETB 2018

<sup>37</sup> Frage: „Ich nenne Ihnen nun einige ausgewählte Tätigkeiten. Sagen Sie mir bitte, wie häufig diese Tätigkeiten bei Ihrer Arbeit vorkommen, ob häufig, manchmal oder nie.“

*Tabelle 3: Technikeinführungen in der Erwerbstätigenbefragung 2018, Anteile in %*

<i>Technikeinführung</i> <sup>38</sup>	<i>nein</i>	<i>ja</i>	<i>Gesamt (n=100%)</i>
Fertigungs-/Verfahrenstechnik	67,8	32,2	17.442
Software	53,1	46,9	17.289
Maschinen/Anlagen	67,6	32,4	17.538

Quelle: eigene Berechnungen, gewichtete Daten, ETB 2018

Auszubildende, Selbstständige, freiberuflich Tätige und freie Mitarbeitende werden nicht berücksichtigt. Als die einzige uns bekannte Befragung mit einer (arbeitsplatzspezifischen) und differenzierten Erfassung von Aufgaben und verschiedener Technikeinführungen bietet die ETB eine vielversprechende Datenbasis für unser Vorhaben. beschäftigt sind.

Tabelle 2 und *Tabelle 3* zeigen eine Übersicht der 18 Arbeitsaufgaben und drei Technikeinführungen, die in der ETB enthalten sind. Besonders durch die Vielfalt an Arbeitsaufgaben lassen sich unterschiedliche Veränderungsprozesse zwischen Arbeitsaufgaben und Technikeinführungen abbilden. Einer kontrafaktischen Logik folgend, messen wir im Rahmen einer Kausalanalyse den Einfluss einer bestimmten Technikeinführung ( $D_{1-3}$ ) auf verschiedene Arbeitsaufgaben ( $Y_{1-18}$ ). Dazu konditionieren wir auf solche Kontrollvariablen ( $X_{1-8}$ ), die beobachtbare Charakteristika der Kontroll- und Treatmentgruppen abbilden, welche sowohl D als auch Y beeinflussen können. Damit werden backdoorpaths geschlossen (ELWERT/WINSHIP 2014, S. 35). Das heißt, es wird ausgeschlossen, dass eine mit D und Y assoziierte Drittvariable die Ursache des geschätzten kausalen Effekts von D auf Y ist. In Kapitel 3.3. leiten wir für die einzelnen Kontrollvariablen ex ante theoretische Begründungen der kausalen Wirkungsmechanismen her. Die Konditionierung auf die übrigen, in Kapitel 3.3 diskutierten, Variablen würde wiederum zum overcontrol und/oder confounding Bias führen (ELWERT/WINSHIP 2014, HERNÁN/ROBINS 2020, S. 83ff.) und den kausalen Effekt von Y auf D verzerren. Abbildung 2 visualisiert die kausalen Wirkungsmechanismen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, in Form eines „Directed acyclic graph“ (HERNÁN/ROBINS 2020, S. 69ff., PEARL 2009, S. 12f.).

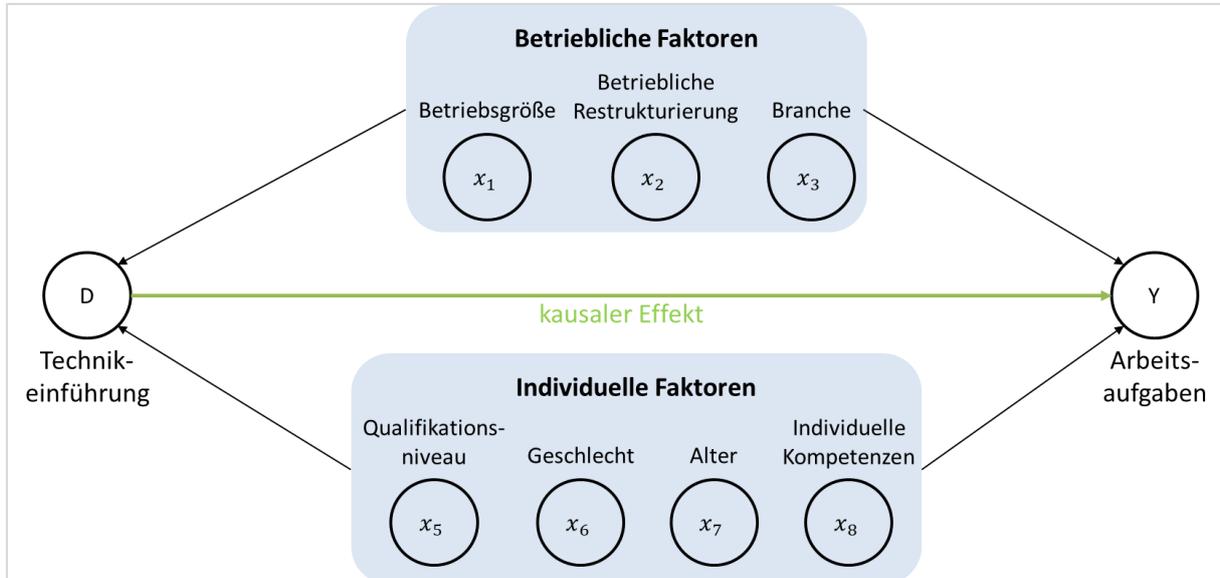
Die Technikeinführungen sowie die Fragen zur betrieblichen Restrukturierung beziehen sich auf den Zeitraum der vergangenen zwei Jahre vor der Befragung oder, wenn die befragte Person noch nicht so lange am derzeitigen Arbeitsplatz arbeitet, auf den Zeitraum, in dem die Person dort beschäftigt ist. Arbeitsaufgaben und die übrigen Kontextfaktoren sind wiederum zum Befragungszeitpunkt gemessen.<sup>39</sup> Wir operationalisieren die Kontextfaktoren wie folgt. Die Betriebsgröße wird in

<sup>38</sup> Frage: „Sagen Sie mir bitte nun, ob in Ihrem unmittelbaren Arbeitsumfeld in den letzten zwei Jahren folgende Veränderungen vorgenommen wurden. Wenn Sie noch nicht solange Ihrer jetzigen Tätigkeit nachgehen, denken Sie bitte an die Zeit, seitdem Sie Ihre Tätigkeit auf Ihrem jetzigen Arbeitsplatz ausüben. Wurden in den letzten zwei Jahren ... eingeführt“ (Ja/Nein).

<sup>39</sup> Erhebungszeitraum: 02.10.2017 bis 05.04.2018.

Anlehnung an die EU-Empfehlung 2003/361<sup>40</sup> definiert und in Form von Kleinst- (zwei bis neun Beschäftigte), Klein- (bis 49), Mittel- (bis 249) und Großunternehmen (ab 250) in das Modell aufgenommen.

Abbildung 2: DAG des Kausalmodells



Quelle: eigene Darstellung

Betriebliche Restrukturierungen werden in Form dichotomer Variablen (0/1) für Expansions-, Fusions- und Outsourcingprozessen innerhalb der letzten zwei Jahre auf Betriebsebene in das Modell integriert. Individuelle Kompetenzen fließen in drei Abstufungen als Voraussetzung für Techniknutzung in das Modell ein und umfassen keine, Grund- oder Fachkenntnisse (jeweils: 0/1) in den Bereichen Technik, Mathematik/Statistik und Deutsch/Rechtschreibung. Das Geschlecht fließt binär (Mann/Frau) und das Alter metrisch (von 16 bis 75 Jahren) ein. Wir zentrieren die Altersvariable um ihren Mittelwert (47 Jahre), um die Ergebnisse intuitiver interpretieren zu können. Die jeweiligen Branchen, in denen die Befragten beschäftigt sind, orientieren sich an der 10er Rekodierung der Klassifikation der Wirtschaftszweige aus dem Jahr 2008 (STATISTISCHES BUNDESAMT 2009). Berufe werden wiederum auf Grundlage der Klassifikation der Berufe aus dem Jahr 2010 (BMAS 2011), jedoch in Form von Berufsfeldern in den Modellen berücksichtigt, da diese die berufliche Homogenität besser abbilden als die ursprüngliche Klassifikation (TIEMANN u. a. 2008). Wir schätzen zudem nach Berufsfeldern getrennte Modelle, um eine Verwischung der Effekte über verschiedene Berufsfelder zu vermeiden. Das Qualifikationsniveau geht als Kombination aus Schul- und beruflichem (Ausbildungs-) Abschluss mit insgesamt sechs Ausprägungen ins Modell ein. Personen ohne beruflichen oder akademischen Abschluss unterscheiden wir nach Schulabschluss (Hauptschulabschluss, mittlere Reife, Fach-

<sup>40</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003H0361&from=EN>

/Hochschulreife). Darüber hinaus wird zwischen Personen mit dualer/schulischer Berufsausbildung, absolvierter Aufstiegsfortbildung (Meister\*in, Betriebswirt\*in, etc.) sowie Fach-/Hochschulabschluss unterschieden.

Trotz der generellen Eignung der ETB für unsere Analyse Zwecke, wird die Identifizierung kausaler Effekte durch das Querschnittsdesign der ETB erschwert. Idealerweise würden alle Kontrollvariablen zum selben Zeitpunkt vor der Technikeinführung gemessen. Die interessierende Technikeinführung ist jedoch mit Bezug auf einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren vor der Befragung erfasst. In diesem bis zu Zweijahreszeitraum bleiben Berufsfeld und Branche zeitlich konstant, da sich die Technikeinführungen nur auf den aktuellen Arbeitsplatz beim derzeitigen Arbeitgeber beziehen und somit Berufswechsel als Auslöser für Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Techniknutzung ausgeschlossen sind. Wie in Kapitel 3.3 – Betriebliche Restrukturierung – beschrieben, kann eine Interdependenz zwischen Technikeinführung und Organisationsstruktur jedoch nicht ausgeschlossen werden, da auch betriebliche Restrukturierungen bis zu zwei Jahre rückwirkend gemessen sind.<sup>41</sup> Für die Zuordnung zu einer Betriebsgrößenklasse gehen wir von einer relativen zeitlichen Konstanz aus, da sprunghafte Beschäftigungszuwächse in weniger als zwei Jahren eher unwahrscheinlich erscheinen. Parallel sind mit über 75% die große Mehrheit der deutschen Betriebe Kleinstbetriebe mit weniger als zehn sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (BUNDESINSTITUT FÜR BERUFSBILDUNG 2021, S. 191). Eine größere zeitliche Varianz liegt mutmaßlich den individuellen Kompetenzen inne. Wir nehmen jedoch an, dass grundlegende Kenntnisse in den Bereichen Technik, Mathematik und Lesen und Schreiben zur Techniknutzung vorhanden sein müssen und diese primär in formalen Bildungsphasen vor Berufseintritt erworben werden. Unter diesen Bedingungen ist es eher unwahrscheinlich, dass sich diese Kompetenzen in den vergangenen maximal zwei Jahren grundsätzlich verändert haben. Zuletzt muss die hier vorgelegte empirische Operationalisierung des Modells auf die Technisierung des Arbeitsumfelds bzw. die vor der Technikeinführung vorhandenen digitalen Arbeitsmittel verzichten, da dieser Faktor (noch) nicht ausreichend operationalisiert werden kann. Wir argumentieren jedoch, dass der Digitalisierungsgrad (teilweise) über Branche und Beruf abgebildet werden kann, wobei Heterogenitäten auf darunterliegender Ebene (z. B. Arbeitsplätzen) nicht berücksichtigt werden.<sup>42</sup>

Zur Schätzung des Kausaleffekts berechnen wir ein Modell unter Nutzung des Propensity-Score-Matching (PSM)-Ansatzes mit Epanechnikov-Kernel-Algorithmus (GANGL/DIPRETE 2004, S. 18f., 23ff., GARRIDO u. a. 2014, STUART 2010), da dieser die beste Ausbalancierung von Merkmalsunterschieden

---

<sup>41</sup> Eine potenziell verzerrende Wirkung auf den Schätzer ist nicht ausgeschlossen. Die Aufnahme der Variable erscheint uns im Vergleich zum Bias durch Nichtkontrolle, jedoch die geeignetere bzw. weniger verzerrende Variante.

<sup>42</sup> Mögliche Interaktionseffekte hinsichtlich der Technisierung im Betrieb, wie in Kapitel 3.3 (Abschnitt: Technisierung im Betrieb) erläutert, können aktuell nicht ausreichend operationalisiert werden.

zwischen Treatment- und Kontrollgruppe aufweist. Folglich werden in unserem Modell Personen, die keine Technikeinführung erlebt haben ( $D_0$ ), Personen gegenübergestellt, bei denen dies beobachtet wurde ( $D_1$ ) (siehe auch Tabelle A1 im Appendix). Unter Einbezug der Kontrollvariablen wird die jeweilige kontrafaktische Wahrscheinlichkeit ( $Y_i^1 - Y_i^0$ ) für eine Technikeinführung ermittelt, um darauf basierend den Einfluss der Technikeinführung auf eine bestimmte Arbeitsaufgabe zu isolieren. Der resultierende Koeffizient in Form des Average Treatment Effects (ATE) gibt den durchschnittlichen kausalen Effekt von D auf Y aus (siehe Formel 1).

*Formel 1: Average Treatment Effect (ATE)*

$$ATE = E(Y_i^{D1} - Y_i^{D0})$$

#### 4.2. Anwendungsbeispiele

Im folgenden Beispiel ermitteln wir den ATE für theoretisch formalisierbare Arbeitsaufgaben von Personen in Ingenieur- und Techniker\*innenberufen.<sup>43</sup> Diese Berufe erweisen sich als besonders groß sowie hinsichtlich der Aufgabenprofile vergleichsweise homogen und sind somit gut geeignet für eine Beispielrechnung. Die Verengung auf bestimmte Berufe erfolgt, da die Ermittlung des ATE über mehrere/sämtliche Berufsfelder hinweg weniger aussagekräftig ist, da die Kontextfaktoren von Berufen – wie in Kapitel 3.3 dargelegt – tendenziell heterogen strukturiert sind. Ohne tiefere Differenzierung des Modells würden sich einzelne berufsspezifische Effekte vermischen und könnten sich gegenseitig verstärken oder nivellieren. Daher laufen Aussagen über Substitutions- oder Komplementaritätseffekte für den gesamten Arbeitsmarkt Gefahr, wichtige Unterschiede zu verschleiern und tragen kaum zum Verständnis zugrundeliegender Mechanismen bei. Zudem weist jüngste Forschung zu technischem Wandel auf Unterschiede im Flexibilitätsgewinn und der Kontrolle von Arbeitsprozessen je nach vertikaler Positionierung in der Berufsstruktur hin (REIMANN/ABENDROTH/DIEWALD 2020). Dies spricht zusätzlich für eine nach Berufen getrennte Analyse. Die benötigten Drittvariablen bleiben für das nach Beruf differenzierte Modell im Vergleich zum ursprünglichen Modell dieselben und lediglich der Beruf wird spezifiziert (Ingenieur- und Techniker\*innen).

Konkret analysieren wir im Beispiel den Einfluss von Technikeinführung, in Form der Einführung einer „Fertigungs-/Verfahrenstechnik“, auf die vier häufigsten Arbeitsaufgaben von Techniker\*innen und Ingenieur\*innen, die AUTOR/LEVY/MURNANE (2003) als Routineaufgaben klassifizieren: „Messen, Prüfen, Qualität kontrollieren“ ( $Y_1$ ), kurz: Mess-/Prüfaufgaben), „Überwachen, Steuern von Maschinen, Anlagen, technischen Prozessen“ ( $Y_2$ ), kurz: Überwachungs-/Steuerungsaufgaben), „Reparieren, Instandsetzen“ ( $Y_3$ ), kurz: Reparaturaufgaben), „Herstellen, Produzieren von Waren und Gütern“ ( $Y_4$ ),

---

<sup>43</sup> Berufshauptfelder (TIEMANN u. a. 2008): 21=Ingenieur\*innen, 23=Techniker\*innen.

kurz: Produktionsaufgaben). In die Analysen fließen insgesamt über 1.230 Personen ein. Die Arbeitsaufgaben werden jeweils in drei dichotomen Ausprägungen in das Modell aufgenommen („nie“, „manchmal“ und „häufig“). Dies ermöglicht im Anschluss die Ermittlung eines Trends. Tabelle 4 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der vier Arbeitsaufgaben abhängig von der Einführung einer Fertigungs-/Verfahrenstechnik. Fast die Hälfte der Ingenieur\*innen und Techniker\*innen erfuhren die Einführung einer Fertigungs-/Verfahrenstechnik im unmittelbaren Arbeitsumfeld in den vergangenen zwei Jahren.

*Tabelle 4: Verteilung der Arbeitsaufgaben in Ingenieur- und Techniker\*innenberufen nach Einführung einer Fertigungs-/Verfahrenstechnik*

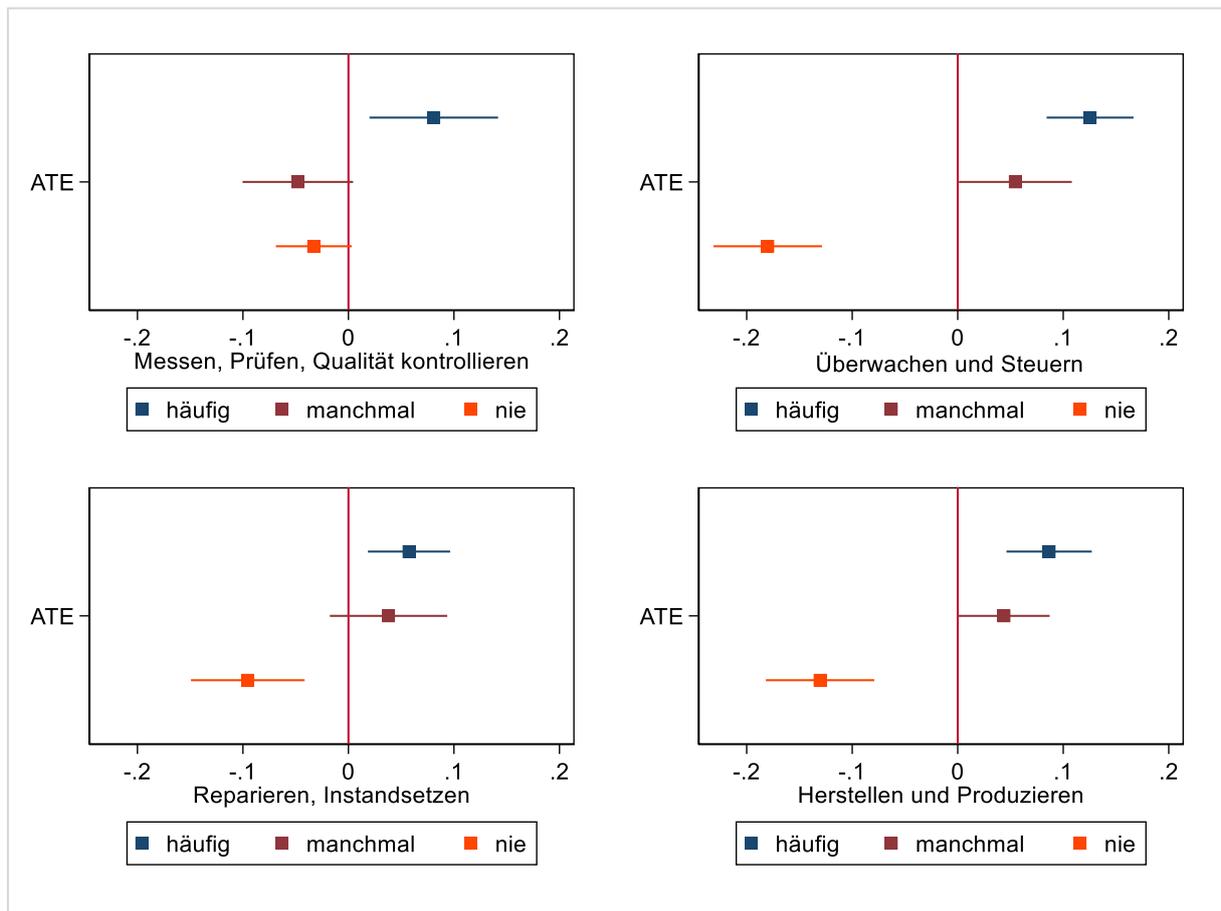
Aufgabe (Y)	Technikeinführung: Fertigungs-/Verfahrenstechnik		Gesamt
	Nein (D <sub>0</sub> )	Ja (D <sub>1</sub> )	
Mess-/Prüfaufgaben (Y <sub>1</sub> )			
Nie	13,55 %	10,11 %	11,93%
Manchmal	30,18 %	28,15 %	29,23%
Häufig	56,27 %	61,75 %	58,84 %
Gesamt	656 (100 %)	581 (100 %)	1.238 (100 %)
Steuerungs-/Überwachungsaufgaben (Y <sub>2</sub> )			
Nie	56,57 %	28,91 %	43,57 %
Manchmal	21,19 %	29,34 %	25,02 %
Häufig	22,24 %	41,75 %	31,41 %
Gesamt	656 (100 %)	582 (100 %)	1.237 (100 %)
Reparaturaufgaben (Y <sub>3</sub> )			
Nie	60,32 %	44,12 %	52,70 %
Manchmal	25,52 %	32,82 %	28,95 %
Häufig	14,17 %	23,06 %	18,35 %
Gesamt	656 (100 %)	581 (100 %)	1.237 (100%)
Produktionsaufgaben (Y <sub>4</sub> )			
Nie	78,44 %	63,43 %	71,41 %
Manchmal	10,28 %	16,25 %	13,07 %
Häufig	11,28 %	20,32 %	15,52 %
Gesamt	657 (100 %)	578 (100 %)	1.235 (100%)

Quelle: ETB 2018, eigene Berechnung, gewichtet (Abweichungen durch Rundungen möglich)

Die deskriptive Auswertung zeigt zudem, dass – abhängig von der Ausprägung des Treatments – Unterschiede der nie, manchmal und häufig ausgeführten Aufgaben bestehen. 62 Prozent der Befragten, die die Einführung einer Fertigungs-/Verfahrenstechnik erlebten, führen Mess-/Prüfaufgaben häufig aus. Dies liegt ca. sechs Prozentpunkte über dem Anteil derer, ohne ebenjene Einführung. Der Anteil der Befragten, die häufig Steuerungs-/Überwachungsaufgaben bzw. häufig Produktionsaufgaben ausführen, ist fast doppelt so hoch unter jenen, die eine Einführung von Fertigungs-/Verfahrenstechnik angegeben haben (42 und 20 Prozent vs. 22 und 11 Prozent).

Die Ergebnisse des Kausalmodells bestätigen die deskriptiv beobachteten Unterschiede in den Arbeitsaufgaben. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse des Modells in Form durchschnittlicher Treatmenteffekte (ATEs).

Abbildung 3: Average Treatment Effects (ATEs) einer Fertigungs-/Verfahrenstechnik



Anmerkung: 95 % Konfidenzintervalle basierend auf Standardfehlern mit Bootstrappingverfahren mit 50 Wiederholungen, BIBB Berufsfelder: Ingenieur\*innen- und Techniker\*innen  
Quelle: ETB 2018, eigene Berechnung

Die Einführung von Fertigungs-/Verfahrenstechnik am Arbeitsplatz erhöht den Anteil der Ingenieur\*innen und Techniker\*innen, die häufig Mess-/Prüfaufgaben ausführen, signifikant um acht Prozentpunkte (Abbildung 3 oben links) im Vergleich zu keiner Einführung dieser Technik (vgl. auch Tabelle 5). Umgekehrt sinkt der Anteil der Beschäftigten, die manchmal oder selten Mess-/Prüfaufgaben ausführen um fünf bzw. drei Prozentpunkte. Unter den in Abbildung 3 dargestellten Aufgaben zeigen sich für Steuerungs- und Überwachungsaufgaben die größten Zuwächse (plus 13 Prozentpunkte bei „häufig“), wenn innerhalb der letzten zwei Jahre Fertigungs-/Verfahrenstechnik am Arbeitsplatz eingeführt wurde. Ein ähnlicher Trend ist bei Reparatur- und Produktionsaufgaben beobachtbar: Der Anteil der Beschäftigten, die häufig Reparatur- bzw. Produktionsaufgaben ausführen, wächst bei Fertigungs-/Verfahrenstechnikeinführung um sechs bzw. neun Prozentpunkte gegenüber der Vergleichsgruppe. Schwache und nicht signifikante Zuwächse finden sich bei jenen, die manchmal Steuerungs- Reparatur- bzw. Produktionsaufgaben erledigen. Gleichzeitig sinkt der Anteil der Ingenieur\*innen und Techniker\*innen, die nie solche Aufgaben ausführen, deutlich und signifikant um 18, zehn und 13 Prozentpunkte.

Tabelle 5: Ergebnisse (ATE) für Ingenieur\*innen und Techniker\*innen

	Coef. <sup>a</sup>	SE <sup>b</sup>	z	P< z	95% Conf. Interv. <sup>c</sup>		n
<b>Mess-/Prüfaufgaben (Y<sub>1</sub>)</b>							
häufig	0,0808**	0,0285	2,8347	0,0046	0,0249	0,1367	1.238
manchmal	-0,0479	0,0283	-1,6929	0,0905	-0,1035	0,0076	1.238
nie	-0,0329	0,0171	-1,9285	0,0538	-0,0663	0,0005	1.238
<b>Steuerungs-/Überwachungsaufgaben</b>							
häufig	0,1254***	0,0271	4,6348	0,0000	0,0724	0,1785	1.237
manchmal	0,0546	0,0305	1,7900	0,0735	-0,0052	0,1144	1.237
nie	-0,1801***	0,0286	-6,2994	0,0000	-0,2361	-0,1240	1.237
<b>Reparaturaufgaben</b>							
häufig	0,0574*	0,0242	2,3750	0,0176	0,0100	0,1048	1.237
manchmal	0,0380	0,0252	1,5051	0,1323	-0,0115	0,0874	1.237
nie	-0,0954***	0,0286	-3,3404	0,0008	-0,1514	-0,0394	1.237
<b>Produktionsaufgaben</b>							
häufig	0,0866***	0,0179	4,8471	0,0000	0,0516	0,1217	1.235
manchmal	0,0438*	0,0181	2,4222	0,0154	0,0084	0,0792	1.235
nie	-0,1304***	0,0241	-5,4144	0,0000	-0,1777	-0,0832	1.235

<sup>a</sup>ATE= average treatment effect, <sup>b</sup>Standardfehler basierend auf Bootstrappingverfahren mit 50 Wiederholungen, <sup>c</sup>95 % Konfidenzintervall

\* <0,05; \*\* <0,01; \*\*\* <0,001

Quelle: ETB 2018, eigene Berechnung

Unter der Bedingung, dass die Modellannahmen greifen, interpretieren wir die Ergebnisse als Komplementarität zwischen Mess-/Prüf-, Steuerungs-/Überwachungs-, Reparatur- sowie Produktionsaufgaben und Fertigungs-/Verfahrenstechnik bei Ingenieur\*innen und Techniker\*innen. Dies wird deutlich an den jeweils signifikanten Unterschieden der beiden Aufgabenpole (Ausführung der Aufgabe: nie und häufig). Dabei berücksichtigt das Modell, dass Treatment- und Kontrollgruppe aufgrund ihrer Charakteristika unterschiedliche Chancen auf eine Technikeinführung haben. Zusammengefasst liefern unsere Ergebnisse zum Einfluss von Technikeinführungen bei Ingenieur\*innen und Techniker\*innen keine Belege für die Substitution von Arbeitsaufgaben, die als potenziell ersetzbar eingestuft werden (Routineaufgaben). Im Gegenteil, die Einführung von Fertigungs- und Verfahrenstechnik hat einen positiven Effekt auf die Häufigkeit, mit der Mess-/Prüfaufgaben, Steuerungs-/Überwachungsaufgaben, Reparatur- sowie Produktionsaufgaben ausgeübt werden, welches wir als Komplementarität deuten.

## 5. Diskussion und Forschungspotenziale

Unser Modell verbindet auf theoretischer Ebene den ökonomischen task-Ansatz zum Wandel von Technik und Arbeit mit dem sozio-technischen Systemansatz zur Mensch-Technik-Interaktion, um Substitution- sowie Komplementarität zu konzeptualisieren und empirisch zu messen. Einerseits ermöglicht die Verbindung von task- und sozio-technischem Systemansatz den Fokus auf Komplementaritäten zu legen, die – parallel zur Analyse von Substitution(-spotenzialen) – bisher nur selten im Fokus der Forschung stehen. Andererseits können wir das Zusammenwirken von Mensch und Technik retrospektiv auf Individualebene untersuchen und somit a priori Annahmen zur Ersetzbarkeit bestimmter Aufgaben vermeiden, auf denen zahlreiche vorige Forschungsarbeiten zu Substitution basieren. Somit ermöglicht unser Modell in gängigen Studien prognostizierte Substitutionspotenziale mit tatsächlich erfolgter Substitution abzugleichen.

Parallel zur Definition von Substitution als funktionale Ersetzung menschlicher Arbeitsaufgaben definieren wir Komplementarität als Ergebnis eines gegenseitigen Ergänzungsprozesses menschlicher Arbeitsaufgaben und technischer Funktionalität. Durch die Ergänzung können bestehende Arbeitsaufgaben effektiver und/oder neue Arbeitsaufgaben ausgeführt werden. Anhand empirisch-quantitativer Daten messen wir, inwiefern unterschiedliche Technikeinführungen die Häufigkeit einzelner Arbeitsaufgaben innerhalb ausgewählter Berufsfelder beeinflussen. Die Spezifizierung des Modells kann gezielt Berufsfelder ansteuern und den Effekt nach der Art der Technik entsprechend isolieren und differenzieren. Dies trägt der Vielfalt an Technologien und ihrer unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten je nach beruflichem Kontext Rechnung. Daneben berücksichtigt unser Modell relevante betriebliche und individuelle Kontextfaktoren, wie den Arbeitskontext in Form betrieblicher Restrukturierungen und individuelle Kompetenzen.

Die ETB als Datengrundlage erlaubt differenzierte Analysen für unterschiedliche Technikeinführungen und eine Vielfalt an Arbeitsaufgaben. Mit den Daten der Querschnittserhebung zielen wir darauf ab, Kausaleffekte im Sinne einer kontrafaktischen Logik zu schätzen. Die Ergebnisse des Anwendungsbeispiels deuten auf Komplementaritäten zwischen Fertigungs-/Verfahrenstechnikeinführungen und Mess-/Prüf-, Steuerungs-/Überwachung-, Reparatur- sowie Produktionsaufgaben in Ingenieur- und Techniker\*innenberufen hin. Dies weist auf die Grenzen der Prognose von Substitutionspotenzialen hin, da Routineaufgaben nicht zwangsläufig technisch ersetzt werden und stimmt mit den Ergebnissen jener Forschungen überein, die keinen massiven Beschäftigungsabbau in Berufen aufgrund von sogenannter Routineaufgaben feststellen (E. G. FERNÁNDEZ-MACÍAS/HURLEY 2017, HELMRICH u. a. 2016, OESCH/PICCITTO 2019). Zudem können wir demonstrieren, dass Aufgaben mit dem Einsatz neuer Technik variieren und ein dynamisches Bild von Berufen und Beschäftigten zeichnen. Weiter gedacht stellen solche Ergebnisse, die eine Anpassung

von Arbeitsaufgaben an den technischen Wandel innerhalb von Berufen dokumentieren, die Validität von Beschäftigungsprognosen in Frage (FREEMAN/GANGULI/HANDEL 2020), die von statischen Arbeitsaufgaben- und Kompetenzprofilen ausgehen.

Daneben weisen wir auf vorhandene Einschränkungen unserer Analysen hin. Unsere Analysen sind lediglich auf die Aufgabenebene und zwei Berufsgruppen beschränkt. Zudem basiert die Konstruktion der Vergleichsgruppe auf der Annahme, dass keine unbeobachtbaren Unterschiede zur Treatmentgruppe vorhanden sind, die die Wahrscheinlichkeiten für Technikeinführungen und die Arbeitsaufgaben beeinflussen. Anhand theoretischer Begründungen wird versucht maßgebliche Einflussfaktoren zu identifizieren und in das empirische Modell aufzunehmen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass einzelne Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Technisierung im Betrieb (siehe Kapitel 3.3 und 4.1), unberücksichtigt bleiben. Im Idealfall lägen deshalb Längsschnittdaten vor, die Vorher-Nachher-Vergleiche hinsichtlich des Treatments ermöglichen, um die Kausaleffekte verlässlicher schätzen zu können. Zusätzlich könnten mit genauen Daten zum Zeitpunkt der Einführung einer bestimmten Technik sowie zu den ausgeführten Aufgaben vor und nach der Einführung Substitution und Komplementarität noch verlässlicher gemessen und differenziert werden. Daneben können neuere technische Applikationen, wie beispielsweise industrielle Roboter<sup>44</sup>, digitale Anwendungen auf Grundlage Künstlicher Intelligenz oder Werkzeuge mit integrierten Augmented-Reality-Funktionen, in unserer Analyse noch nicht berücksichtigt werden. Jedoch berücksichtigen wir – im Gegenteil zum Gros voriger Studien zu Substitution – mit der Differenzierung der Einführungen von Fertigungs-/Verfahrenstechnik, Software und Maschinen/Anlagen drei unterschiedliche Technikarten.

Über die Bedeutung neuer Technik für weiter gefasste Komplementaritätsmerkmale, wie Arbeitsqualität, -flexibilität, -autonomie und -kontrolle, ist bislang vergleichsweise wenig bekannt. Dabei weisen aktuelle Studien auf positive Effekte neuer Technik am Arbeitsplatz auf die Bezahlung, Arbeitsplatzsicherheit und physische Belastung von Beschäftigten hin, die von der betrieblichen Arbeitsorganisation moderiert werden (MOFAKHAMI 2021). Die Einbindung betrieblicher Merkmale, wie Personalentwicklungsstrategien und der Arbeitsorganisation, in Analysen zu technischem Wandel könnten daher in Zukunft wertvolle Erkenntnisse zu komplementären Wirkungszusammenhängen liefern.

---

<sup>44</sup> DAUTH u. a. (2021) zeigen, dass ältere Arbeitnehmer\*innen gegenüber Automatisierungseffekten durch Roboter (vor allem in der Industrie) stärker durch Arbeitsmarktinstitutionen (z. B. rechtliche Regulierungen) geschützt sind und sich das Substitutionsrisiko hin zu jüngeren Beschäftigten und Personen, die gerade in den Arbeitsmarkt eintreten, verschiebt.

Trotz der großen Aufmerksamkeit quantitativer Substitutionseffekte technischen Wandels fehlen belastbare Erkenntnisse über die Bedingungen für und die Prozesse rund um Komplementarität und Substitution. Das unterstreichen auch die Ergebnisse unseres empirischen Anwendungsbeispiels. Weitere Auswertungen mit unserem Modell können Hinweise darauf geben, bei welcher Art von Technikeinführungen und Arbeitsaufgaben in welchen Berufen Substitutionspotenziale (nicht) ausgeschöpft werden. Zeitvergleiche könnten ungleiche Substitutions- und Komplementaritätsdynamiken in Berufen offenlegen und Trends ermitteln. Dies ist sinnvoll, da Digitalisierungsprozesse in den entsprechenden Branchen und Berufen zumeist zeitversetzt einsetzen und dynamisch verlaufen. In zukünftigen Analysen wollen wir u. a. im Rahmen von Interaktionsmodellen testen, inwiefern sich die Effekte des Kausalmodells beispielsweise je Anforderungsniveau oder Betriebsgröße unterscheiden, um kausale Effektheterogenitäten zu berücksichtigen. Zum anderen können unsere Analysen grundlegend aus der Gegenperspektive Schnittstellen für komplementäre Techniknutzung offenlegen, die zukünftig weiter beleuchtet werden sollen. Aus zu identifizierenden Schnittstellen lässt sich einerseits die Nachfrage zukünftig geforderter Arbeitsaufgaben und somit auch die zukünftige Nachfrage nach Kompetenzen und Qualifikationen ableiten.

## Literatur

- ACEMOGLU, Daron: Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality. In: *The Quarterly Journal of Economics*, 113 (1998) 4, S. 1055-1089.
- ACEMOGLU, Daron; AUTOR, David H.: Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. National Bureau of Economic Research Working Paper Series, 16082, Cambridge 2010.
- ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual: Artificial Intelligence, Automation and Work. NBER Working Paper, 24196 2018a.
- ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual: Automation and New Tasks: The Implications of the Task Content of Production for Labor Demand. In: *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2018b), S. 3-30.
- ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual: Modeling Automation. *AEA Papers and Proceedings*, 108 2018c.
- ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual: Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. In: *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2019), S. 3-30.
- ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual: Unpacking Skill Bias: Automation and New Tasks. *AEA Papers and Proceedings*, 110 2020.
- AEPLI, Manuel: Technological change and occupation mobility: A task-based approach to horizontal mismatch. GLO Discussion Paper, Essen 2019.
- ALIOOTH, Andreas: Entwicklungen und Einführungen alternativer Arbeitsformen. Bern 1980.
- AMETOWOBLA, Dzifa: Performative Modelle, Expertensysteme und Mikropolitik. Zur Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen Organisationen und Technik im Umgang mit Software. Theoretische und empirische Grundlagen einer soziologischen Digitalisierungsforschung. 3ter Workshop im Arbeitskreis Digitalisierung und Organisation in der Sektion Organisationssoziologie. Berlin 2020.
- ARNTZ, Melanie u. a.: Digitalisierung und Wandel der Beschäftigung (DiWaBe): Eine Datengrundlage für die interdisziplinäre Sozialpolitikforschung. Datenreport und Forschungspotenzial, Nürnberg 2020.
- ARNTZ, Melanie u. a.: Tätigkeitswandel und Weiterbildungsbedarf in der digitalen Transformation. Mannheim 2016a.
- ARNTZ, Melanie u. a.: Arbeitswelt 4.0 - Stand der Digitalisierung in Deutschland: Dienstleister haben die Nase vorn. IAB-Kurzbericht, 22 2016b.
- ARNTZ, Melanie; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich: Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen. Mannheim 2018.
- ARNTZ, Melanie; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich: Digitalization and the future of work: Macroeconomic consequences. ZEW Discussion Papers, 19-024, Mannheim 2019.
- AUTOR, David H.; LEVY, Frank; MURNANE, Richard J.: The skill content of recent technological change: An empirical exploration. In: *The Quarterly journal of economics*, 118 (2003) 4, S. 1279-1333.
- BAKER, Jonathan B.; BRESNAHAN, Timothy F.: The Gains from Merger or Collusion in Product-Differentiated Industries. In: *The Journal of Industrial Economics*, 33 (1985) 4, S. 427-444.
- BALLIESTER, Thereza; ELSHEIKHI, Adam: The Future of Work: A Literature Review. Research Department Working Paper, 29 2018.
- BATTISTI, Michele; DUSTMANN, Christian; SCHÖNBERG, Uta: Technological and Organizational Change and the Careers of Workers. ifo Working Paper, Munich 2017.
- BECK, Ulrich; BRATER, Michael; DAHEIM, Hansjürgen: Soziologie der Arbeit und der Berufe: Grundlagen, Problemfelder, Forschungsergebnisse. Reinbek bei Hamburg 1980.

- BESSEN, James u. a.: Automatic Reaction - What Happens to Workers at Firms that Automate? Law & Economics Series Paper, 19-2 2019.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS): Klassifikation der Berufe 2010 – Band 2: Definitorischer und beschreibender Teil. Nürnberg 2011.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS): Weißbuch Arbeiten 4.0. Berlin 2016.
- BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN (BMF): Deutscher Aufbau- und Resilienzplan (DARP). Berlin 2021.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi): Monitoring-Report. Wirtschaft DIGITAL 2018. Berlin 2018.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland. Digitalisierungsindex 2020. Langfassung eines Ergebnispapiers im Projekt „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin 2021.
- BÖHLE, Fritz: Weder rationale Reflexion noch präreflexive Praktik – erfahrungsgeleitet-subjektivierendes Handeln. In: BÖHLE, Fritz; WEIHRICH, Margit (Hrsg.): Handeln unter Unsicherheit. Wiesbaden 2009. S. 203-228.
- BÖHLE, Fritz: Arbeit als Subjektivierendes Handeln. Handlungsfähigkeit bei Unwägbarkeiten und Ungewissheit. Wiesbaden 2017.
- BONIN, Holger; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich: Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland: Endbericht an das Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Mannheim. 2015.
- BRESNAHAN, Timothy F.; BRYNJOLFSSON, Erik; HITT, Lorin M.: Information Technology, Workplace Organization, and the Demand for Skilled Labor: Firm-Level Evidence. In: The Quarterly Journal of Economics, 117 (2002) 1, S. 339–376.
- BRYNJOLFSSON, Erik; HITT, Lorin M.: Computing Productivity: Firm-Level Evidence. In: The Review of Economics and Statistics, 85 (2003) 4, S. 793-808.
- BRYNJOLFSSON, Erik; ROCK, Daniel; SYVERSON, Chad: Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. In: AGRAWAL, Ajay; GANS, Joshua; GOLDFARB, Avi (Hrsg.): The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda. Chicago 2019. S. 23-57.
- BUNDESINSTITUT FÜR BERUFSBILDUNG (BIBB): Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2021. Informationen und Analysen zur Entwicklung der beruflichen Bildung. Bonn 2021.
- DAUTH, Wolfgang u. a.: The Adjustment of Labor Markets to Robots. In: Journal of the European Economic Association, <https://doi.org/10.1093/jeea/jvab012> (2021).
- DEDRICK, Jason; GURBAXANI, Vijay; KRAEMER, Kenneth L.: Information technology and economic performance: A critical review of the empirical evidence. In: ACM Comput. Surv., 35 (2003) 1, S. 1–28.
- DENGLER, Katharina; MATTHES, Britta: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt: In kaum einem Beruf ist der Mensch vollständig ersetzbar. IAB-Kurzbericht, 24, Nürnberg 2015.
- DENGLER, Katharina; MATTHES, Britta: Substituierbarkeitspotenziale von Berufen: Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt. IAB-Kurzbericht, 4, Nürnberg 2018.
- DENGLER, Katharina; MATTHES, Britta: Folgen des technologischen Wandels für den Arbeitsmarkt. Auch komplexere Tätigkeiten könnten zunehmend automatisiert werden. IAB-Kurzbericht, 13, Nürnberg 2021.
- DENGLER, Katharina; MATTHES, Britta; PAULUS, Wiebke: Berufliche Tasks auf dem deutschen Arbeitsmarkt - Eine alternative Messung auf Basis einer Expertendatenbank. FDZ-Methodenreport - Methodische Aspekte zu Arbeitsmarktdaten, 12, Nürnberg 2014.
- DIEWALD, Martin; ANDERNACH, Björn; KUNZE, Eva S.: Entwicklung der Beschäftigungsstruktur durch Digitalisierung von Arbeit. In: MAIER, Günter W.; ENGELS, Gregor; STEFFEN, Eckhard (Hrsg.):

- Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Berlin, Heidelberg 2020. S. 435-451.
- DÖRN, Sebastian: Wie funktioniert ein Algorithmus? Prinzip algorithmischer Verfahren. In: DÖRN, Sebastian (Hrsg.): Java lernen in abgeschlossenen Lerneinheiten: Programmieren für Einsteiger mit vielen Beispielen. Wiesbaden 2019. S. 97-112.
- ELWERT, Felix; WINSHIP, Christopher: Endogenous Selection Bias: The Problem of Conditioning on a Collider Variable. In: Annual Review of Sociology, 40 (2014) 1, S. 31-53.
- EMERY, Frederick E.; TRIST, Eric L.: Socio-technical Systems. In: EMERY, Frederick E. (Hrsg.): Systems Thinking. Harmondsworth 1969.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION: Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and Amending Certain Union Legislative Acts. COM(2021) 206 final, Brüssel 2021.
- FANA, Marta; VILLANI, Davide; BISELLO, Martina: Mind the Task: Evidence on Persistent Gender Gaps at the Workplace. JRC Technical Report, Sevilla 2021.
- FERNÁNDEZ-MACÍAS, Enrique; BISELLO, Martina: A Comprehensive Taxonomy of Tasks for Assessing the Impact of New Technologies on Work. In: Social Indicators Research, <https://doi.org/10.1007/s11205-021-02768-7> (2021).
- FERNÁNDEZ-MACÍAS, Enrique; HURLEY, John: Routine-biased technical change and job polarization in Europe. In: Socio-Economic Review, 15 (2017) 3, S. 563-585.
- FREEMAN, Richard B.; GANGULI, Ina; HANDEL, Michael J.: Within-Occupation Changes Dominate Changes in What Workers Do: A Shift-Share Decomposition, 2005–2015. AEA Papers and Proceedings, 110 2020.
- FRERICHS, Frerich: Demografischer Wandel in der Erwerbsarbeit – Risiken und Potentiale alternder Belegschaften. In: Journal for Labour Market Research, 48 (2015) 3, S. 203-216.
- FREY, Carl B.: The Technology Trap – Capital, Labor, and Power in the Age of Automation. Princeton/Oxford 2019.
- FREY, Carl B.; OSBORNE, Michael A.: The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? , Oxford 2013.
- FREY, Carl B.; OSBORNE, Michael A.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? In: Technological Forecasting and Social Change, 114 (2017), S. 254-280.
- GANGL, Markus; DIPRETE, Thomas A.: Kausalanalyse durch Matchingverfahren. Discussion Paper, Berlin 2004.
- GARRIDO, Melissa M. u. a.: Methods for constructing and assessing propensity scores. In: Health Serv Res, 49 (2014) 5, S. 1701-20.
- GENZ, Sabrina: German Workforce Adaption to Digitalization. Rechts- und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. 2021.
- GENZ, Sabrina; BELLMANN, Lutz; MATTHES, Britta: Do German Works Councils Counter or Foster the Implementation of Digital Technologies? In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, 239 (2019) 3, S. 523-564.
- GENZ, Sabrina u. a.: How Do Workers Adjust When Firms Adopt New Technologies? IZA Discussion Paper Series, 14626, Bonn 2021.
- GENZ, Sabrina; SCHNABEL, Claus: Digging into the Digital Divide: Workers Exposure to Digitalization and its Consequences for Individual Employment. LASER Discussion Papers, Nuremberg 2021.
- GERHARDS, Christian; FRIEDRICH, Anett: BIBB-Qualifizierungspanel 2016. BIBB-FDZ Daten- und Methodenberichte, 1, Bonn 2018.

- GOLDIN, Claudia; KATZ, Lawrence F.: The Race between Education and Technology. Inequality in the 21st Century. 2018.
- GOOS, Maarten; MANNING, Alan; SALOMONS, Anna: Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring. In: American Economic Review, 104 (2014) 8, S. 2509-2526.
- GREGORY, Terry; SALOMONS, Anna; ZIERAHN, Ulrich: Racing With or Against the Machine? Evidence on the Role of Trade in Europe. In: Journal of the European Economic Association, forthcoming (2021)
- GROSSMAN, Gene M.; ROSSI-HANSBERG, Esteban: Trading Tasks: A Simple Theory of Offshoring. In: American Economic Review, 98 (2008), S. 1978-1997.
- GÜNTÜRK-KUHL, Betül; LEWALDER, Anna C.; MARTIN, Philipp: Die Taxonomie der Arbeitsmittel des BIBB - Revision 2018. Bonn 2019.
- HALL, Anja; HÜNEFELD, Lena; ROHRBACH-SCHMIDT, Daniela: BIBB/BAuA-Erwerbstätigen-befragung 2018 – Arbeit und Beruf im Wandel. Erwerb und Verwertung beruflicher Qualifikationen. SUF\_1.0. Bonn 2020.
- HASLBERGER, Matthias: Rethinking the measurement of occupational task content. In: The Economic and Labour Relations Review, <https://doi.org/10.1177/10353046211037095> (2021a), S. 1-22.
- HASLBERGER, Matthias: Routine-biased technological change does not always lead to polarisation: Evidence from 10 OECD countries, 1995–2013. In: Research in Social Stratification and Mobility, <https://doi.org/10.1016/j.rssm.2021.100623> (2021b).
- HAUER, Gerlinde; HOFMANN, Barbara; SAUER, Petra: Digitalisierung hat (k)ein Geschlecht. In: WISO, 40. (2017) 3, S. 119–129.
- HELMRICH, Robert; LEPPELMEIER, Ingrid: Sinkt die Halbwertszeit von Wissen? - Theoretische Annahmen und empirische Befunde. Bonn 2020.
- HELMRICH, Robert; TIEMANN, Michael: Ein Modell zur Beschreibung beruflicher Inhalte. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP), 29 (2015), S. 1-27.
- HELMRICH, Robert u. a.: Digitalisierung der Arbeitslandschaften: Keine Polarisierung der Arbeitswelt, aber beschleunigter Strukturwandel und Arbeitsplatzwechsel. Wissenschaftliche Diskussionspapiere / Bundesinstitut für Berufsbildung. 2016.
- HERNÁN, Miguel A.; ROBINS, James M.: Causal Inference: What If. Boca Raton 2020.
- HIRSCH-KREINSEN, Hartmut: Digitalisierung von Arbeit: Folgen, Grenzen und Perspektiven. Soziologisches Arbeitspapier, <https://doi.org/10.17877/DE290R-17066>, Dortmund 2015.
- HIRSCH-KREINSEN, Hartmut: Das Konzept des Soziotechnischen Systems - revisited. In: AIS-Studien, 11 (2018a), S. 11-28.
- HIRSCH-KREINSEN, Hartmut: Die Pfadabhängigkeit digitalisierter Industriearbeit. In: Arbeit, 27 (2018b) 3, S. 239-259.
- HIRSCH-KREINSEN, Hartmut: Technik und Arbeit. „Bringing technology back in“. Beiträge aus der Forschung, 207, Dortmund 2021.
- HIRSCH-KREINSEN, Hartmut; ITTERMANN, Peter; NIEHAUS, Jonathan (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Baden-Baden 2018.
- HOFFMANN-WAGNER, Kerstin; JOSTES, Gudrun: Technik. In: (Hrsg.): Barrierefreie Events: Grundlagen und praktische Tipps zur Planung und Durchführung. Wiesbaden 2021. S. 95-105.
- HUCHLER, Norbert: Die Grenzen der Digitalisierung. In: HOFMANN, Josephine (Hrsg.): Arbeit 4.0 – Digitalisierung, IT und Arbeit: IT als Treiber der digitalen Transformation. Wiesbaden 2018. S. 143-162.

- HUCHLER, Norbert: Assimilierende versus komplementäre Adaptivität - Grenzen (teil-)autonomer Systeme In: HIRSCH-KREINSEN, Hartmut; KARACIC, Anemari (Hrsg.): Autonome Systeme und Arbeit - Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt. Bielefeld 2019. S. 139-180.
- HUCHLER, Norbert: Die Mensch-Maschine-Interaktion bei Künstlicher Intelligenz im Sinne der Beschäftigten gestalten. In: Digitale Welt, 4 (2020), S. 30-33.
- JAKOBS, Eva-Maria; LEHNEN, Kathrin; ZIEFLE, Martina: Alter und Technik. Studie zu Technikkonzepten, Techniknutzung und Technikbewertung älterer Menschen. Aachen 2008.
- JORGENSEN, Dale W.; HO, Mun S.; STIROH, Kevin J.: A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence. In: Journal of Economic Perspectives, 22 (2008) 1, S. 3-24.
- KARAFYLLIS, Nicole C.: Soziotechnisches System. In: LIGGIERI, Kevin; MÜLLER, Oliver (Hrsg.): Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik. Stuttgart 2019. S. 300-303.
- KASTE, Stefanie u. a.: Digital Gender Gap - Lagebild zu Gender(un)Gleichheiten in der digitalisierten Welt. Berlin, Bielefeld 2020.
- KOCH, Sabine C.; MÜLLER, Stephanie M.; SIEVERDING, Monika: Women and Computers. Effects of Stereotype Threat on Attribution of Failure. In: Computers & Education, 51 (2008), S. 1795-1803.
- KÖHNE-FINSTER, Sabine u. a.: Berufsbildung 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen. Säule 3: Monitoring- und Projektionssystem zu Qualifizierungsnotwendigkeiten für die Berufsbildung 4.0. Bonn 2020.
- KOLLAND, Franz; WANKA, Anna; GALLISTL, Vera: Technik und Alter – Digitalisierung und die Ko-Konstitution von Alter(n) und Technologien. In: SCHROETER, Klaus R.; VOGEL, Claudia; KÜNEMUND, Harald (Hrsg.): Handbuch Soziologie des Alter(n)s. Wiesbaden 2019. S. 1-19.
- KUTZNER, Edelgard: Arbeit und Geschlecht: Die Geschlechterperspektive in der Auseinandersetzung mit Arbeit – aktuelle Fragen und Herausforderungen. Working Paper, Düsseldorf 2017.
- LUTZ, Burkart: Das Ende des Technikdeterminismus und die Folgen: soziologische Technikforschung vor neuen Aufgaben und neuen Problemen. Deutscher Soziologentag "Technik und sozialer Wandel". 1987.
- LUTZ, Burkart; SENGENBERGER, Werner: Arbeitsmarktstrukturen und öffentliche Arbeitsmarktpolitik Eine kritische Analyse von Zielen und Instrumenten. Göttingen 1974.
- MCGUINNESS, Seamus; POULIAKAS, Konstantinos; REDMOND, Paul: Skills-Displacing Technological Change and Its Impact on Jobs: Challenging Technological Alarmism? Discussion Paper Series, 12541, Bonn 2019.
- MOFAKHAMI, Malo: Is Innovation Good for European Workers? Beyond the Employment Destruction/Creation Effects, Technology Adoption Affects the Working Conditions of European Workers. In: Journal of the Knowledge Economy, <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00819-5> (2021)
- MÜNCHHAUSEN, Gesa; SCHMITZ, Santina; SCHÖNFELD, Gudrun: Betriebliche Weiterbildung, Lernformen und Kompetenzanforderungen. Ergebnisse der Betriebsfallstudien der CVT55-Zusatzerhebung in Deutschland. BIBB-Preprint, Bonn 2021.
- NEDELKOSKA, Ljubica; QUINTINI, Glenda: Automation, skills use and training. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, 202, Paris 2018.
- OESCH, Daniel; PICCITTO, Giorgio: The Polarization Myth: Occupational Upgrading in Germany, Spain, Sweden, and the UK, 1992–2015. 46 (2019) 4, S. 441-469.
- OHLERT, Clemens; BOOS, Pauline: Auswirkungen der Digitalisierung auf Geschlechterungleichheiten. In: Arbeit, 29 (2020) 3-4, S. 195-218.

- OHLERT, Clemens; GIERING, Oliver; KIRCHNER, Stefan: Digital transformation as a segmented process: Empirical findings from a large German employer survey. Working Paper "Fachgebiet Digitalisierung der Arbeitswelt", Berlin 2020.
- PEARL, Judea: Causality. Models, Reasoning and Inference. Cambridge 2009.
- PFEIFFER, Sabine: Arbeitsvermögen: ein Schlüssel zur Analyse (reflexiver) Informatisierung. 2004.
- PFEIFFER, Sabine: The Vision of "Industrie 4.0" in the Making — a Case of Future Told, Tamed, and Traded. In: NanoEthics, 11 (2017) 1, S. 107-121.
- PFEIFFER, Sabine; SUPHAN, Anne: Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Working Paper, 1 2015.
- PLASS, Christoph: Wie digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle die Arbeitswelt verändern. In: MAIER, Günter W.; ENGELS, Gregor; ECKHARD, Steffen (Hrsg.): Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Berlin 2020. S. 59-85.
- PREDIGER, Dale J.; SWANEY, Kyle B.: Work task dimensions underlying the world of work: Research results for diverse occupational databases. In: Journal of Career Assessment, 12 (2004) 4, S. 440-459.
- REIMANN, Mareike; ABENDROTH, Anja-Kristin; DIEWALD, Martin: How digitalized is work in large German workplaces, and how is digitalized work perceived by workers? A new employer-employee survey instrument. IAB-Forschungsbericht, Nuremberg 2020.
- RICE, Albert K.: The enterprise and its environment. London 1963.
- RODRIGUES, Margarida; FERNÁNDEZ-MACÍAS, Enrique; SOSTERO, Matteo: A unified conceptual framework of tasks, skills and competences. JRC Working Papers Series on Labour, education and Technology, JRC121897, Seville 2021.
- SCHRÖDER, Christian: Herausforderungen von Industrie 4.0 für den Mittelstand. Bonn 2016.
- SEBASTIAN LAGO, Raquel; BIAGI, Federico: The Routine Biased Technical Change hypothesis: a critical review. EUR 29364 EN, Luxembourg 2018.
- SEYDA, Susanne; MEINHARD, David B.; PLACKE, Beate: Weiterbildung 4.0 – Digitalisierung als Treiber und Innovator betrieblicher Weiterbildung. IW-Trends, 45 2018.
- STATISTISCHES BUNDESAMT: Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen: Ausgabe 2008. Wiesbaden 2009.
- STORM, Eduard: On the Measurement of Tasks: Conceptual Benefits of Using Survey over Expert-based Data. Preprint, 2020.
- STUART, Elizabeth A.: Matching methods for causal inference: A review and a look forward. In: Statistical science : a review journal of the Institute of Mathematical Statistics, 25 (2010) 1, S. 1-21.
- TIEMANN, Michael u. a.: Berufsfeld-Definitionen des BIBB. Wissenschaftliche Diskussionspapiere, 2008.
- TURING, Alan M.: Computing Machinery and Intelligence. In: Mind, LIX (1950) 236, S. 433-460.
- UMBACH, Susanne u. a.: Kompetenzverschiebungen im Digitalisierungsprozess - Veränderungen für Arbeit und Weiterbildung aus Sicht der Beschäftigten. Bielefeld 2020.
- VADANA, Ioan-Iustin u. a.: Digitalization of companies in international entrepreneurship and marketing. In: International Marketing Review, 37 (2020) 3, S. 471-492.
- WITTENPAHL, Volker (Hrsg.): Künstliche Intelligenz. Technologie | Anwendung | Gesellschaft. Berlin, Heidelberg 2019.

## Appendix

Tabelle A1: Balancing der Kontrollvariablen vor und nach dem Matching

Variablen	Vor Matching				Nach Matching			
	Technikeinführung				Technikeinführung			
	ja	nein	% bias <sup>a</sup>	VR <sup>b</sup>	ja	nein	% bias <sup>a</sup>	VR <sup>b</sup>
<b>Branche</b>								
Landwirtsch./Bergbau/Energie/Wasser	0,05	0,06	-4,6		0,05	0,05	1,70	
sonst. Verarbeitendes Gewerbe	0,17	0,11	18,4		0,16	0,16	0,90	
<b>Metall- und Elektrobranche</b>	Referenz							
Baugewerbe	0,03	0,06	-15,6		0,03	0,03	0,10	
Handel	0,03	0,03	-2,5		0,03	0,03	-1,00	
privater Dienstleistungssektor	0,05	0,07	-9,1		0,05	0,05	-0,80	
Banken/Versicherungen	0	0,01	-4,2		0	0	0,10	
unternehmensnaher Dienstleistungssektor	0,06	0,16	-32,8		0,06	0,06	-1,50	
Öffentlicher Dienst/Erziehung/Unterricht	0,03	0,07	-21,5		0,03	0,03	-1,50	
Gesundheits- und Sozialwesen	0,01	0,01	-2,2		0,01	0,01	0,40	
<b>Betriebsgröße</b>								
Kleinstunternehmen	0,03	0,08	-23,2		0,03	0,02	0,50	
Kleinunternehmen	0,09	0,19	-30,2		0,09	0,08	1,00	
Mittleres Unternehmen	0,26	0,26	0,7		0,26	0,27	-1,50	
<b>Großunternehmen</b>	Referenz							
<b>Betriebliche Restrukturierung</b>								
Verlegung/Auslagerung von Unternehmensteilen	0,39	0,27	26,5		0,38	0,39	-1,1	
Fusion mit anderem Unternehmen	0,32	0,24	17,2		0,31	0,31	0,80	
Expansion/starkes Wachstum	0,65	0,38	54,1		0,64	0,64	1,10	
<b>Qualifikationsniveau</b>								
ohne berufl. Abschluss - Hauptschuleabschluss	0,01	0	2,6		0,01	0,01	2,00	
ohne berufl. Abschluss - Realschulabschluss	0	0	-3		0	0	0,90	
ohne berufl. Abschluss - Abitur	0,01	0,01	-4,1		0,01	0,01	-2,30	
Berufsausbildung	0,27	0,23	10,3		0,27	0,27	-0,60	
Aufstiegsfortbildung	0,21	0,16	12,9		0,21	0,21	1,20	
<b>Fach-/Hochschulabschluss</b>	Referenz							
<b>Individuelle Kompetenzen</b>								
<b>Mathematik/Statistik - keine Kenntnisse</b>	Referenz							
Grundkenntnisse	0,07	0,08	-2,5		0,07	0,08	-1,5	
Fachkenntnisse	0,36	0,42	-11,7		0,36	0,37	-0,30	
<b>Deutsch/Rechtschreibung - keine Kenntnisse</b>	Referenz							
Grundkenntnisse	0,04	0,03	0,3		0,04	0,04	-2,90	
Fachkenntnisse	0,38	0,4	-4,4		0,38	0,37	2,50	
<b>Technisches Verständnis - keine Kenntnisse</b>	Referenz							
Grundkenntnisse	0,02	0,04	-14,4		0,02	0,02	-0,70	
Fachkenntnisse	0,14	0,15	-2,5		0,14	0,14	2,10	
<b>Geschlecht</b>	0,13	0,18	-15,2		0,13	0,13	1,10	
<b>Alter</b>	-1,36	-0,93	-4	0,89	-1,37	-1,34	-0,20	0,90

n=1.238

<sup>a</sup> % bias= standardisierter prozentualer Bias (% der Quadratwurzel aus Mittelwert der Varianzen von Treatment- und Kontrollgruppe.

<sup>b</sup> VR= Varianzverhältnis, für kontinuierliche Kontrollvariablen als das Verhältnis der Varianz der Treatment- und der Kontrollgruppe.