

# Arbeitsmarkteffekte der Automatisierung – eine ökonomische Perspektive

MARCO DE PINTO UND ULRICH ZIERAHN-WEILAGE

## Kernbotschaften

- Die Automatisierung von Arbeitsprozessen führt auf **gesamtwirtschaftlicher Ebene bisher kaum zu einer Veränderung der Beschäftigung**. Gleichwohl können strukturelle Anpassungen auf dem Arbeitsmarkt beobachtet werden.
- Die zunehmende Automatisierung führt zu einer **Verdrängung von Nichtroutineätigkeiten**. Es gibt Hinweise darauf, dass die betroffenen Personen in ihrem Beruf verweilen, allerdings andere Tätigkeiten durchführen (müssen). Daneben gibt es auch Evidenz dafür, dass bei einem Arbeitsplatzverlust sich die Re-Integration in den ersten Arbeitsmarkt schwierig(er) gestaltet.
- **Personen, die Nichtroutineätigkeiten in ihren Berufen durchführen, profitieren** von der Automatisierung, z. B. durch eine höhere Arbeitsplatzsicherheit.
- Firmen, die technologische Innovationen nutzen, profitieren durch den damit verknüpften Wettbewerbsvorteil, während Firmen, die ältere Technologien einsetzen, tendenziell verlieren. Dies zeigt sich auch bei der Beschäftigung: **Technologisch führende Firmen dehnen ihre Arbeitsnachfrage (nach qualifiziertem Personal) eher aus**, während Arbeitsplätze bei Firmen ohne den Einsatz technologischer Innovationen eher abgebaut werden.
- Als gemeinsames Bild ergibt sich, dass **das „Ende der Arbeit“ wohl eine Utopie bleibt**, selbst bei Technologien, die auf künstlicher Intelligenz beruhen. Es ist zu erwarten, dass, analog zu anderen technologischen Neuerungen, sich Arbeit strukturell ändert, nicht aber die menschliche Arbeit vollständig ersetzt wird. Dennoch gibt es Verlierer der Automatisierung, z. B. geringqualifizierte Arbeitskräfte, welche ihre Tätigkeiten nicht oder nur sehr kostenintensiv an die neuen Gegebenheiten anpassen können.

## 1 Einleitung

Welche Auswirkungen hat technologischer Fortschritt auf die Arbeitswelt? Diese Fragestellung ist seit Jahrzehnten Gegenstand von gesellschaftlichen Debatten zur Zukunft der Arbeit. Bereits im Jahr 1978 titelte der Spiegel: „Die Computer-Revolution – Fortschritt macht arbeitslos“ (Spiegel 1978). Im Jahr 2016 hieß es dann: „Sie sind entlassen! Wie uns Computer und Roboter die Arbeit wegnehmen und welche Berufe morgen noch sicher sind“ (Spiegel 2016). Aktuell hört man vielfach von der Sorge, dass

Technologien, die auf künstlicher Intelligenz beruhen, Arbeitsplätze in nie dagewesener Form gefährden.

Sicherlich bergen neue Technologien stets das Risiko, dass menschliche Arbeitsprozesse substituiert werden können. Eine pauschalisierte Gefahr für alle Arbeitsplätze daraus abzuleiten, ohne Wahrnehmung, dass im Zuge technologischer Innovationen auch neue Jobs entstehen könnten, ist aber unangebracht. Vielmehr ist eine differenzierte, wissenschaftliche Analyse notwendig, um herauszustellen, welche wahren Beschäftigungseffekte von technologischem Fortschritt ausgehen, welche strukturellen Änderungen dies auf dem Arbeitsmarkt mit sich bringt und welche Arbeitergruppen besonders positiv oder besonders negativ davon betroffen sind. Derlei Kenntnisse sind auch wichtig für die Beratung von Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern, denn sie geben Hinweise darauf, welche Chancen und Herausforderungen im Zuge gegenwärtiger und zukünftiger technologischer Innovationen für Arbeitssuchende, Beschäftigte und Unternehmen auftreten könnten.

Eine differenzierte Betrachtung beginnt bereits beim technologischen Fortschritt selbst. Im Fokus der oben angerissenen Debatte stehen grundsätzlich Technologien, die eine Automatisierung von Produktionsprozessen ermöglichen. Ein Meilenstein war hierfür die Innovation der Computertechnologien im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts. Durch eine entsprechende computergesteuerte Programmierung konnten z. B. (Industrie-)Roboter bestimmte Produktionsschritte automatisch, d. h. ohne menschlichen Eingriff, vollziehen. Eine weitere, essenzielle Innovation stellen Informations- und Kommunikationstechnologien dar. Einzelne Computersysteme können hierdurch vernetzt werden (Intra- oder Internet) und Kommunikationsprozesse werden automatisierbar. Weiterhin gibt es jüngst enorme Fortschritte bei der Verarbeitung von großen Datenmengen und bei der Anwendung von Technologien, die auf künstlicher Intelligenz (KI) beruhen wie z. B. KI-verfasste Nachrichtenmeldungen oder KI-basierte Chatbots. Auch diese technologischen Innovationen forcieren das Potenzial der Automatisierung menschlicher Arbeitsprozesse.<sup>1</sup>

In diesem Artikel wird auf Basis arbeitsmarktkökonomischer Literatur erörtert, welche differenzierten Effekte die Automatisierung auf den Arbeitsmarkt hat, wobei die Wirkungen auf den Beschäftigungsstatus im Fokus der Analyse stehen. Hierzu werden im ersten Schritt die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der computergesteuerten Automatisierung betrachtet. In einem zweiten Schritt werden die daraus hervorgehenden strukturellen Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt analysiert und herausgestellt, welche Verlierer und Gewinner die Automatisierung hervorbringt. Abschließend wird zum einen kurz diskutiert, welche Arbeitsmarkteffekte von KI-Tech-

---

<sup>1</sup> Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff Digitalisierung ebenfalls im Sinne einer technologischen Innovation verwendet. Grundsätzlich beschreibt Digitalisierung die Möglichkeit, analoge Informationen auf ein digitales Format zu übertragen. Allerdings wird Digitalisierung in der Regel weiter gefasst, z. B. werden Computer und Netzwerke ebenfalls darunter subsumiert. Damit ist Digitalisierung keine eigenständige technologische Neuerung, sondern eine Folgerung aus den neusten technologischen Innovationen.

nologien potenziell zu erwarten sind, und zum anderen werden Implikationen für die Arbeitgeberberatung auf Basis der gewonnenen Einsichten hergeleitet.<sup>2</sup>

## 2 Gesamtwirtschaftliche Beschäftigungseffekte

In der Volkswirtschaftslehre spricht man von einer gesamtwirtschaftlichen (oder makroökonomischen) Analyse, sofern alle Prozesse innerhalb der Ökonomie ganzheitlich betrachtet werden, und daher nicht zwischen einzelnen Sektoren oder Berufen unterschieden wird. Wichtige gesamtwirtschaftliche Indikatoren sind z. B. das Bruttoinlandsprodukt, die Inflationsrate, die Zahl der (sozialversicherungspflichtigen) Beschäftigungsverhältnisse oder die Arbeitslosenrate. Die beiden letztgenannten Größen werden in diesem Kapitel herangezogen, um mögliche Arbeitsmarkteffekte der Automatisierung zu quantifizieren.

### 2.1 Der Fall Deutschland – die Dauth et al. (2021)-Studie

In einer viel beachteten Studie analysieren Dauth et al. (2017, 2021) die Auswirkungen der Automatisierung auf den deutschen Arbeitsmarkt. Der Fokus liegt hier auf Automatisierung durch den Einsatz von computergesteuerten Robotern. Als Datenbasis werden Erhebungen der International Federation of Robotics (IFR) verwendet. Hierdurch ist es möglich, die Roboterisierung von 25 unterschiedlichen Sektoren (z. B. Automobilindustrie, Landwirtschaft oder Bildung) für den Zeitraum von 1994 bis 2014 zu erfassen. Als Indikator für die Roboterisierung wird der Einsatz eines Roboters je 1.000 Beschäftigte verwendet. Der IFR-Datensatz zeigt, dass der Einsatz von Robotern (je 1.000 Beschäftigte) in Deutschland von zwei im Jahr 1994 auf knapp acht im Jahr 2014 gestiegen ist. Mit dieser Vervierfachung ist Deutschland im internationalen Vergleich führend, der Roboter Einsatz in den USA hat sich z. B. im selben Zeitraum (beginnend von einem niedrigeren Niveau) lediglich knapp verdoppelt. Des Weiteren ist der Roboter Einsatz stark abhängig vom betrachteten Sektor. In der Automobilindustrie werden beispielsweise im Jahr 2014 ca. 60–100 Roboter je 1.000 Beschäftigte mehr eingesetzt als im Jahr 1994, während es im Dienstleistungssektor im selben Zeitraum kaum Veränderungen gab.

Die Autoren und Autorinnen verwenden administrative Sozialversicherungsdaten, welche das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) zur Verfügung stellt, und geeignete empirische Verfahren, um die Auswirkungen der zunehmenden Roboterisierung auf die Beschäftigung in Deutschland zu schätzen. Methodisch wird

---

2 In der arbeitsmarktkökonomischen Literatur gibt es auch eine Debatte um das sog. Automatisierungspotenzial. Frey und Osborne (2017) haben diese Debatte dadurch initiiert, dass sie ein Automatisierungsrisko bei 47 % der Arbeitsplätze in den USA festgestellt haben. Allerdings wurde hier nicht zwischen unterschiedlichen Tätigkeiten innerhalb von Berufen unterschieden. Trägt man dieser Differenzierung Rechnung, nimmt das Automatisierungspotenzial lediglich Werte von um die 10 % an (Arntz et al. 2016, 2017). Für Deutschland hat sich für die Berechnung des Automatisierungsriskos das Substituierbarkeitspotenzial von Tätigkeiten etabliert, welches in verschiedenen Wellen vorliegt (Dengler & Matthes 2015, 2018, 2021). Unabhängig von Methodik und Indikator handelt es sich bei den ermittelten Zahlen stets um Potenziale und nicht um eine tatsächlich vorgenommene Automatisierung. Letzteres steht aber im Mittelpunkt des vorliegenden Artikels, sodass auf die angeführte Debatte nicht weiter eingegangen wird.

hierbei auf einen kausalen Ursache-Wirkungszusammenhang abgestellt, d. h. die Ergebnisse lassen sich so interpretieren, dass der zunehmende Einsatz von Robotern ursächlich für die festgestellte Veränderung der Beschäftigung ist.<sup>3</sup> Das Ergebnis der empirischen Analyse lautet: **Die zunehmende Automatisierung aufgrund des vermehrten Einsatzes von Robotern hat keine Auswirkungen auf die gesamtwirtschaftliche Beschäftigung.**

Diese Einsicht steht im Gegensatz zu der eingangs erwähnten Sorge um die Arbeitsplatzsicherheit und mag insofern zu einer ersten Relativierung in der Debatte beitragen. Eine Erklärung des Befundes ergibt sich durch eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Zusammenhang zwischen Automatisierung und Beschäftigung. Die arbeitsmarktökonomische Literatur unterscheidet hierbei die folgenden Szenarien (Arntz et al. 2020a,b; Acemoglu und Restrepo 2018a,b; Dauth et al. 2021):

### **1. Automatisierung reduziert die Beschäftigung – der Verdrängungseffekt**

Neue Technologien, die eine Automatisierung von zuvor manuell durchgeführten Arbeitsprozessen ermöglichen, verdrängen menschliche Arbeit. Es kommt mithin zu einem Arbeitsplatzverlust und dadurch zu einem Beschäftigungsrückgang. Dieses Szenario – in der Literatur als Verdrängungseffekt durch technologische Innovationen bezeichnet – ist Wasser auf den Mühlen derjenigen, die eine Bedrohung von Arbeitsplätzen durch technologischen Fortschritt propagieren. Und sicherlich ist dieser Effekt kein abstrakter Prozess, sondern in der unternehmerischen Praxis beobachtbar. Ein klassisches Beispiel hierfür ist Automatisierung der Produktion von Automobilen durch Roboter, welche das menschliche Eingreifen an vielen Stellen obsolet macht.

### **2. Automatisierung erhöht die Beschäftigung – der Produktivitätseffekt**

Der Einsatz moderner Technologien hat neben der zuvor genannten, negativ auf die Beschäftigung wirkenden Verdrängung auch potenziell beschäftigungserhöhende Wirkungen. Führt die Automatisierung von Produktionsprozessen z. B. zu einer effizienteren und damit kostengünstigeren Herstellung von Gütern – und dies sollte i. d. R. der Fall sein –, kann es für Unternehmen gewinnbringend sein, die verbesserte Kostensituation durch Preissenkungen an die Kundinnen und Kunden weiterzugeben, sodass die Nachfrage nach dem eigenen Produkt steigt und man sich mithin einen Wettbewerbsvorteil erarbeitet. Eine erhöhte Güternachfrage bedeutet aber auch, dass u. U. mehr Arbeitskräfte benötigt werden, um die nachgefragten Güter herstellen und schlussendlich auch verkaufen zu können. Die Konsequenz: Die Beschäftigung nimmt zu. Ein solches Szenario steht dem dystopischen Bild von dem Ende der Arbeit klar gegenüber.

### **3. Automatisierung erhöht die Beschäftigung – der Wiederherstellungseffekt**

Neue Technologien führen nicht nur zu Änderungen der Produktionsstruktur, sondern etablieren auch gänzliche neue Waren und Dienstleistungen, welche es wiederum erfordern können, dass Menschen gänzlich neue Tätigkeiten inner-

3 Konkret wird der Instrumentvariablen-Ansatz verwendet. Dabei wird eine Hilfsvariable herangezogen, welche ausschließlich über die Einflussvariable – hier die Roboterdichte – auf die Ergebnisvariable – hier beispielsweise die Beschäftigung – wirkt. Dadurch können Störfaktoren isoliert werden, welche ansonsten die Ursache-Wirkungs-Beziehung überlagern würden, wie etwa eine gleichzeitige Zunahme von Beschäftigung und Roboterdichte während eines Booms.

halb ihres Berufes durchführen oder gar ein gänzlich neuer Beruf entsteht, wie beispielsweise Cybersecurity-Analysten und -Analystinnen oder KI-Spezialisten und -Spezialistinnen.<sup>4</sup> Damit ist es einerseits möglich, dass Personen, die ihren Arbeitsplatz aufgrund des Verdrängungseffektes verloren haben, eine neue Tätigkeit und damit eine neue Anstellung finden. Andererseits kann die Nachfrage nach menschlicher Arbeit sogar steigen, d. h. größer sein als vor dem Einsatz neuer Technologien, da zur Herstellung neuer Waren und zur Bereitstellung neuartiger Dienstleistungen zusätzliche Arbeitskräfte benötigt werden. In Summe ist also auch in diesem Szenario eine positive Beschäftigungsentwicklung zu erwarten.

#### **4. Automatisierung hat keinen Einfluss auf die Beschäftigung – die Flexibilität von Arbeitskräften**

Schließlich ist zu berücksichtigen, dass die Automatisierung eines bestimmten Arbeitsprozesses nicht notwendigerweise auch zu einem Arbeitsplatzverlust führt. Es ist durchaus möglich, dass die Automatisierung zwar einen Anteil von Tätigkeiten verdrängt, die zuvor von einem Menschen durchgeführt wurden, aber nicht das gesamte Tätigkeitsspektrum der Arbeitskraft obsolet macht bzw. auch neue Tätigkeiten hinzukommen können. Entscheidend in diesem Prozess ist, ob Arbeitskräfte sich flexibel an die neuen Gegebenheiten anpassen können, ob sie also in Zukunft mehrheitlich Tätigkeiten nachgehen können, die zu den Technologien komplementär sind, sodass sich Mensch und Maschine positiv ergänzen. Beispielsweise ging etwa die Einführung von Bankautomaten nicht mit einem Rückgang, sondern mit einer Zunahme der Beschäftigung von Bankangestellten einher, weil diese zunehmend Beratungsleistungen für Kundinnen und Kunden übernommen haben (Bessen 2015).

Wie könnte nun das Ergebnis der Dauth et al. (2021)-Studie auf Basis dieser Szenarien erklärt werden? Eine These ist, dass alle Beschäftigten flexibel auf die Automatisierung reagieren konnten und es somit zu keinen Arbeitsplatzverlusten gekommen ist. Dies scheint aber extrem unwahrscheinlich – man denke nur an die Umstrukturierung der Produktionsprozesse in der Automobilindustrie. Plausibler ist es, davon auszugehen, dass die oben genannten Szenarien simultan auftreten, aber je nach Sektor und/oder Beruf in unterschiedlich starker Ausprägung. Die Vermutung liegt dann nahe, dass auf gesamtwirtschaftlicher Ebene die durch den Verdrängungseffekt entstandenen Arbeitsplatzverluste auf der einen Seite durch Beschäftigungszuwächse aufgrund von Produktivitäts- oder Wiederherstellungseffekten auf der anderen Seite ausgeglichen werden. Quintessenz: **Ein gesamtwirtschaftlicher Beschäftigungseffekt kann nicht beobachtet werden.**

Damit ist aber nicht gesagt, dass von neuen Technologien keine Gefahr für Arbeitsplätze ausgeht. Vielmehr zeigt das Ergebnis einmal mehr, dass der Zusammenhang zwischen Automatisierung und Beschäftigung noch differenzierter analysiert

<sup>4</sup> Autor et al. (2022) analysieren, welche neuen Berufe durch technologischen Wandel in den USA seit den 1940ern entstanden sind. Sie stellen fest, dass der überwiegende Teil der Beschäftigten heute in Berufen arbeitet, welche 1940 noch gar nicht existierten.

werden muss. Denn: Automatisierung führt sowohl zu einer Arbeitsplatzzerstörung als auch zur einer Arbeitsplatzschaffung. Während sich aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive die Arbeitsplatzschaffung und -zerstörung in etwa die Waage halten, können dahinter durchaus substantielle Strukturverschiebungen zwischen Firmen, Berufen und Branchen stehen, welche Arbeitskräfte und Unternehmen potenziell vor große Herausforderungen stellen.

Zwei Abschlussbemerkungen zur Einordnung des Ergebnisses sind noch wichtig. Erstens stützt sich das Resultat für Deutschland auf lediglich eine Studie. Zweitens gilt das Resultat ausschließlich für die erhabene Technologie: der Einsatz von Robotern. Aus diesem Grund werden diese Ergebnisse im folgenden Abschnitt mit Resultaten von Studien für andere Länder und Technologien kontrastiert.

## 2.2 Internationale Perspektive und andere Technologien

Acemoglu und Restrepo (2020) untersuchen den Effekt des zunehmenden Robotereinsatzes auf die Beschäftigung in den USA. Auch hier werden IFR-Daten mit administrativen Daten kombiniert. Der Analysezeitraum bezieht sich auf die 1990er und 2000er Jahre. Als zentrales Ergebnis kann gezeigt werden, dass eine wachsende Automatisierung durch Roboter zu einem gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungsrückgang führt. Dieses Resultat deutet darauf hin, dass in den USA – im Unterschied zu Deutschland – Verdrängungseffekte quantitativ stärker ausfallen respektive Produktivitäts- und Wiederherstellungseffekte quantitativ schwächer.

In einer verwandten Untersuchung verwenden Graetz und Michaels (2018) IFR-Daten, um die durchschnittlichen Beschäftigungseffekte der Automatisierung in siebzehn Ländern (u. a. Frankreich, Italien, UK, USA, Deutschland und Schweden) zu schätzen. Die Analyse zeigt, dass die Roboterisierung zwischen 1993 und 2007 im Durchschnitt keine negativen gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungseffekte verursacht hat. Dieses Resultat deckt sich somit mit den oben genannten Erkenntnissen zu Deutschland.

Während die bisher gezeigten Studien jeweils den Fokus auf den zunehmenden Einsatz von Robotern gelegt haben, betrachten Gregory et al. (2022) die Beschäftigungseffekte von neuen Technologien im Allgemeinen, d. h., es wird nicht nach der Art der technologischen Innovation unterschieden. Ausschlaggebend ist, dass jene Innovationen zu einer Automatisierung von Arbeitsprozessen führen können. Es werden Daten aus 238 Regionen für 27 europäische Länder zwischen 1999 und 2010 herangezogen. Als Ergebnis stellt sich heraus, dass es starke Verdrängungseffekte neuer Technologien gibt, gleichzeitig aber auch neue Arbeitsplätze durch Produktivitäts-effekte geschaffen werden. In Summe führt dies dazu, dass die gesamtwirtschaftliche Beschäftigung sogar zugenommen hat.

Auch die Untersuchung von Autor und Salomons (2018) analysiert die Beschäftigungseffekte neuer Technologien im Allgemeinen, allerdings liegt der Fokus auf den USA. Als Hauptresultat kann festgehalten werden, dass Verdrängungseffekte durch eine entsprechende Arbeitsplatzschaffung kompensiert werden – die gesamtwirtschaftliche Beschäftigung bleibt daher tendenziell unverändert. Dies deutet darauf hin,

dass in den USA zwar der Einsatz von Robotern mit negativen Beschäftigungseffekten verbunden ist, nicht aber Automatisierung im Allgemeinen.

### 3 Strukturelle Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt

Die Quintessenz aus den zuvor angeführten Überlegungen ist: **Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene sind negative Beschäftigungseffekte von Technologien, die Arbeitsprozesse automatisieren, bisher kaum zu beobachten.** Gleichwohl gibt es Anpassungen – Arbeitsplätze gehen durch Automatisierung verloren, während andere entstehen. Ziel dieses Abschnittes ist es nun, jenen Anpassungsprozess zu analysieren. Dazu wird der Frage nachgegangen, welche strukturellen Änderungen auf dem Arbeitsmarkt durch den Einsatz neuer Technologien entstehen können. Diesbezügliches Wissen ist essenziell für eine adäquate Beratung von Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern, denn – so viel kann bereits gesagt werden – Automatisierung bringt sowohl Gewinner als auch Verlierer hervor.

#### 3.1 Sektoroperspektive: Verarbeitendes Gewerbe vs. Dienstleistungsbranche

In der Studie von Dauth et al. (2017, 2021) wurden bekanntlich keine gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungseffekte der Automatisierung festgestellt. Allerdings ändert sich das Bild, wenn man auf unterschiedliche Sektoren blickt. Die Autoren und Autorinnen stellen heraus, dass der zunehmende Einsatz von Robotern zu Arbeitsplatzverlusten im verarbeitenden Gewerbe führt. Konkret verdrängte zwischen 1994 und 2014 ein Roboter im Durchschnitt zwei Vollzeitbeschäftigte, in Summe gingen 275.000 Stellen verloren. Ergo: **Im verarbeitenden Gewerbe ist ein starker Verdrängungseffekt zu beobachten.**

Allerdings wird dieser Beschäftigungsrückgang durch neue Arbeitsplätze in anderen Sektoren ausgeglichen. **Neue Arbeitsplätze entstehen insbesondere im Bereich der unternehmensnahen Dienstleistungen.** Dazu gehören Informations- und Technologieservices, Reinigung und Sicherheit. Solche Dienstleistungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie von Unternehmen (und weniger von privaten Haushalten) nachgefragt werden. Damit ist es plausibel, anzunehmen, dass Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe die höhere Effizienz der Produktion und damit die günstigere Kostenstruktur genutzt haben, um die Nachfrage nach (unternehmensnahen) Dienstleistungen zu erhöhen, was wiederum dort die Arbeitsnachfrage erhöht hat (Dauth et al. 2017, 2021). Es handelt sich also um einen Produktivitätseffekt. Durch den Einsatz neuer Technologien im verarbeitenden Gewerbe steigt die Beschäftigung im Dienstleistungssektor.

Ist nun davon auszugehen, dass Beschäftigte bildlich gesprochen ebenfalls aus dem verarbeitenden Gewerbe in den Dienstleistungssektor wechseln? Vermutlich wird dies eher die Ausnahme und nicht die Regel sein. Tatsächlich zeigen Dauth et al. (2017, 2021), dass sich die Arbeitsplatzsicherheit von Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe erhöht. Dieses Ergebnis scheint im Widerspruch zu dem oben festgestellten

Verdrängungseffekt zu sein. Eine differenziertere Analyse zeigt: **Personen, die bereits in einem Beschäftigungsverhältnis stehen, werden von neuen Technologien nicht verdrängt.** Es ist vielmehr so, dass es keine weiteren Neueinstellungen gibt, d. h. (zukünftige) neue Arbeitsplätze für Berufseinsteigerinnen und -einsteiger werden verdrängt. Dies erklärt den oben skizzierten Beschäftigungsrückgang im verarbeitenden Gewerbe zwischen 1994 und 2014: Bestehende Arbeitsverhältnisse sind nicht verloren gegangen, sondern es wurde auf Neueinstellungen verzichtet, welche ohne Robotereinsatz anvisiert worden wären. Damit ist davon auszugehen, dass es kaum zu sektorenübergreifenden Wechseln in der Beschäftigung kommt und die zusätzlich geschaffenen Stellen im Dienstleistungssektor durch Personen mit entsprechenden Qualifikationen neu besetzt werden. Fraglich bleibt, wie es möglich ist, Beschäftigte im Unternehmen zu halten, obwohl der Produktionsprozess zunehmend automatisiert wird. Dieses Rätsel wird im folgenden Abschnitt aufgelöst.

Auch an dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass sich die Einsichten auf die Automatisierung durch Roboter beziehen. Es ist aber davon auszugehen, dass dieselben Prozesse auch bei neusten Technologien, wie z. B. dem Einsatz von KI-basierter Software, prinzipiell wirken, wobei deren quantitative Bedeutung erst im Nachhinein festgestellt werden kann.

### **3.2 Berufsperspektive: Routinetätigkeiten vs. Nichtroutinetätigkeiten**

Bei der arbeitsmarktökonomischen Debatte um die Folgen des technologischen Wandels hat die Literatur in den letzten zwei Jahrzehnten zunehmend die Rolle der Tätigkeiten, die Beschäftigte in bestimmten Berufen ausüben, hervorgehoben. Die Aufsätze von Autor et al. (2003) sowie von Acemoglu und Autor (2011) etablierten hierbei die Unterscheidung zwischen Routinetätigkeiten und Nichtroutinetätigkeiten. **Routinetätigkeiten** (oder Routineaufgaben) zeichnen sich dadurch aus, dass sie nach einem festgelegten Muster und nach exakt definierten Regeln ablaufen. Beispiele hierfür sind das Anfertigen von Aufzeichnungen, die Durchführung von Kalkulationen (z. B. in der Buchführung), sich wiederholende Dienstleistungen (z. B. Kassieren), sich wiederholende Montagen oder Sammeln und Sortieren. **Nichtroutinetätigkeiten** (oder Nichtroutineaufgaben) sind dagegen Tätigkeiten, die sich nicht durch vorher definierte Regeln beschreiben lassen. Beispiele hierfür sind das Aufstellen und Testen von Hypothesen, medizinische Diagnosen, juristisches Schreiben, die Leitung von Unternehmen, der Vertrieb oder LKW-Fahrten.

In der Pionierarbeit von Acemoglu und Restrepo (2018a) wird herausgestellt, dass von technologischem Fortschritt unterschiedliche Auswirkungen auf besagte Tätigkeiten zu erwarten sind. Einerseits scheint es plausibel, dass computerbasierte Automatisierung, z. B. durch den Einsatz von Robotern, die menschliche Durchführung von Routinetätigkeiten obsolet macht. Der Grund ist einfach: Routinetätigkeiten lassen sich leicht durch sogenannte regelbasierte Algorithmen programmieren, sodass Maschinen die zuvor durch den Beschäftigten erledigte Tätigkeit selbst durchführen können, und dies vermutlich auch effizienter. Es scheint also lohnend für Unternehmen, die Durchführung von Routinetätigkeiten durch den Einsatz des entsprechenden Kapi-

tals zu automatisieren. Andererseits lassen sich Nichtroutinetätigkeiten durch regelbasierte Algorithmen nicht automatisieren. Im Gegenteil: Der Einsatz von Computer-technologien bringt neue, zuvor nicht benötigte Nichtroutinetätigkeiten hervor, wie z. B. der technische Support des Systems oder die Weiterentwicklung der Programmierung.

Damit kann festgehalten werden: **Automatisierung könnte zu einer Verdrängung von Routinetätigkeiten führen und damit den entsprechenden Arbeitseinsatz verringern, während das Spektrum von Nichtroutinetätigkeiten zunehmen könnte, was wiederum mit einer Erhöhung des Arbeitseinsatzes verbunden wäre.** Es zeigt sich, dass auch aus dieser Perspektive die Entwicklung der Beschäftigung von der Höhe des Verdrängungseffektes und des Produktivitäts- bzw. Wiederherstellungseffektes (siehe Abschnitt 2.1) abhängig ist.

Nun ist es offenkundig, dass die Tätigkeiten, welche Beschäftigte innerhalb bestimmter Berufe durchführen, grundsätzlich zu beiden Tätigkeitsarten zählen können. In manchen Berufen überwiegen freilich Nichtroutinetätigkeiten (z. B. Informatiker und Informatikerin), bei anderen dominieren wiederum Routinetätigkeiten (z. B. Buchhalter und Buchhalterin). Überträgt man nun den obigen Gedanken auf die Berufsebene, ergeben sich folgende Hypothesen. Erstens ist zu erwarten, dass die Beschäftigungschancen in Berufen, die einen hohen Anteil von Nichtroutinetätigkeiten aufweisen, durch Automatisierung ansteigen, während sie in Berufen mit mehr Routinetätigkeiten sinken. Zweitens könnten sich die Tätigkeitsstrukturen innerhalb der Berufe selbst ändern, d. h., die Beschäftigten üben denselben Beruf aus, führen aber anteilig mehr Nichtroutinetätigkeiten durch.

Die empirische Überprüfung der zuvor skizzierten Zusammenhänge wurde in den letzten Jahrzehnten von einer Vielzahl von Studien durchgeführt. Autor et al. (2003) konnten bereits zeigen, dass computergesteuerte Automatisierung in den USA zu einem Abbau von Arbeitsplätzen führt, bei denen (hauptsächlich) Routinetätigkeiten verlangt werden. Spitz-Oener (2006) stellt zusätzlich heraus, dass der Rückgang der Routinetätigkeiten primär durch eine Veränderung der Tätigkeiten innerhalb von Berufen stattgefunden hat und nur zu einem kleinen Teil durch einen Rückgang von Berufen mit hohen Routineanteilen hervorgerufen wurde. Damit ist klar: Personen, die vor allem Routinetätigkeiten ausführen, sind den direkten Konsequenzen der Automatisierung besonders ausgesetzt.

Cortes et al. (2017) können in diesem Zusammenhang für die USA feststellen, dass es sich hierbei um Personen handelt, welche einen niedrigen oder mittleren Bildungsabschluss aufweisen. Blien et al. (2021) verdeutlichen, dass Personen in Deutschland, die der Automatisierung direkt ausgesetzt sind und ihre Anstellung verlieren, vergleichsweise geringere Chancen auf eine Neuambilanz haben. Zu analogen Ergebnissen kommt die Studie von Bessen et al. (2023) für die Niederlande.

In einem aktuellen Aufsatz von Acemoglu et al. (2023) kann – auf Basis der Auswertung niederländischer Daten – zudem gezeigt werden, dass Personen, die der Automatisierung nicht direkt ausgesetzt sind, also hauptsächlich Nichtroutinetätigkeiten

nachgehen, profitieren. Diese Personengruppe hat eine bessere Lohnentwicklung und eine höhere Beschäftigungswahrscheinlichkeit zu erwarten.

In der sich auf Deutschland fokussierenden Dauth et al. (2021)-Studie konnte festgestellt werden, dass – überraschenderweise – Automatisierung kaum zu Entlassungen geführt hat, sondern der Beschäftigungsrückgang auf unterbleibende Neueinstellungen zurückzuführen war (siehe Abschnitt 3.1). Dieses Ergebnis lässt sich dadurch erklären, dass sich die **Tätigkeitsstruktur innerhalb des Berufs geändert** hat. Die Autoren und Autorinnen zeigen, in Übereinstimmung mit den oben genannten Resultaten, dass Automatisierung durch Roboter zu einer Verdrängung von Routinetätigkeiten geführt hat. Aber: Jene Beschäftigte erhielten neue, höherwertige Aufgaben innerhalb des Unternehmens, welche eine höhere Qualifikation erfordern. Die Autoren und Autorinnen stellen abschließend ebenfalls fest, dass der zunehmende Robotereinsatz die Berufe besserstellt, welche (Nichtroutine-)Tätigkeiten durchführen, die zu den neuen Technologien komplementär sind. Dazu zählen z. B. Informatiker und Informatikerinnen oder Manager und Managerinnen. Damit lassen sich folgende zentralen Erkenntnisse festhalten:

1. Die zunehmende Automatisierung führt zu einer **Verdrängung von Nichtroutinetätigkeiten**.
2. Die Anpassungen an diese Verdrängungen sind vielschichtig. Es gibt Evidenz dafür, dass Personen innerhalb ihres Berufes alternative Tätigkeiten durchführen und es somit zu keinem Arbeitsplatzverlust kommt. Es gibt allerdings auch Hinweise darauf, dass die Beschäftigungschancen der betreffenden Personen substantiell sinken und der Wiedereinstieg in den Beruf nach einer Arbeitslosigkeitsperiode schwierig ist.
3. **Personen, die Nichtroutinetätigkeiten in ihren Berufen durchführen, profitieren** von der Automatisierung, z. B. durch eine höhere Arbeitsplatzsicherheit.

Abschließend muss wiederum erwähnt werden, dass sich diese Erkenntnisse hauptsächlich auf die computergestützte Automatisierung beziehen. Welche Konsequenzen der Einsatz von künstlicher Intelligenz hat, ist auf Basis dieser Studien nicht abzuschätzen. Dennoch gilt auch hier, dass beim Einsatz neuster Technologien dieselben Mechanismen grundsätzlich am Werk sind, d. h., nur weil bestimmte Tätigkeiten theoretisch automatisierbar sind, muss daraus nicht zwangsläufig ein Arbeitsplatzverlust entstehen.

### **3.3 Firmenperspektive: Einsatz und Implikationen von Automatisierung**

In den bisherigen Ausführungen wurde außer Acht gelassen, welche Firmentypen überhaupt von Automatisierungen im Produktionsprozess Gebrauch machen und welche Konsequenzen dies wiederum für die Beschäftigung aufweist.

Koch et al. (2021) nutzen zur Beantwortung dieser Fragen spanische Daten im Zeitraum 1990–2016. Als Automatisierungstechnologie werden Roboter betrachtet. Die Autoren können erstens zeigen, dass Roboter insbesondere in Firmen eingesetzt werden, die bereits vor der technologischen Innovation hochproduktiv waren. Interessanterweise nutzen Firmen, die im Vorfeld über eine vergleichsweise hochqualifizierte

Belegschaftsstruktur verfügen, anteilig seltener Automatisierung im Produktionsprozess. Die Vermutung liegt nahe, dass in solchen Firmen vermehrt Nichtroutinetätigkeiten durchgeführt werden, welche sich nicht oder nur mit hohem Aufwand automatisieren lassen, sodass der entsprechende Einsatz der Technologie unterbleibt. Zweitens kann für Firmen, die die neuen Technologien einsetzen, ein Beschäftigungsanstieg festgestellt werden. Zudem können die Autoren keine negativen Beschäftigungseffekte für unterschiedliche Arbeitertypen, z. B. auch nicht für geringqualifizierte Personen, feststellen. Das Bild verändert sich aber, sobald Firmen betrachtet werden, welche von Automatisierungstechnologien absehen. Hier kann ein Beschäftigungsverlust identifiziert werden. Dies wird damit erklärt, dass Firmen mit veralteter Technologie weniger produktiv und wettbewerbsfähig sind, was z. B. zu Schließungen von Unternehmensstandorten führen kann.

Diese Resultate werden von Acemoglu et al. (2020) unter Verwendung französischer Daten bestätigt. Zusätzlich zeigen die Autoren und Autorinnen in dieser Studie, dass sich die Belegschaftsstrukturen in Firmen, welche Automatisierungen im Produktionsprozess einsetzen, verändern: Es werden anteilig mehr Personen gesucht, welche hochqualifiziert sind. Ähnliche Schlussfolgerungen finden sich in Dixon et al. (2019) für kanadische Daten. Die Autoren und Autorinnen stellen heraus, dass die Nachfrage nach hochqualifiziertem Personal steigt – analog zu den Ergebnissen von Acemoglu et al. (2020) –, dies aber ebenso für Beschäftigte mit niedrigem Qualifikationsniveau zutrifft. Im Gegensatz dazu sinkt die Nachfrage nach Personen mit mittlerem Bildungsabschluss.

Damit ist klar: **Computergestützte Automatisierung führt zu einem Wettbewerbsvorteil für die Firmen, welche die technologischen Innovationen einsetzen.** Die Beschäftigtenzahl in diesen Firmen scheint in Summe zu steigen, allerdings auf Kosten von Arbeitsplatzverlusten in Firmen, welche von Automatisierungen absehen. **Zudem verändert sich die Qualifikationsstruktur der Belegschaft in den Firmen mit computergestützter Automatisierung**, das hochqualifizierte Personal geht hier klar als Gewinner hervor.

## 4 Ein Blick in die Zukunft: KI-Arbeitsmarkteffekte

Die aufgezeigten Arbeitsmarkteffekte des technologischen Fortschritts weisen einen gemeinsamen Nachteil auf: Sie beziehen sich nicht auf die neusten technologischen Innovationen, insbesondere der Einsatz von künstlicher Intelligenz wird nicht analysiert. Dabei beziehen sich die Sorgen um die Arbeitswelt der Zukunft gerade auf diesen Bereich und auch im medialen Umfeld findet dieser höchste Aufmerksamkeit.

Ein Grund für diesen Umstand ist schnell gefunden: die mangelnde Datenverfügbarkeit. Gemäß einer Umfrage von Schaller et al. (2023) setzen aktuell lediglich ca. 10 % der in Deutschland ansässigen Firmen KI-Technologien wie z. B. Text-/Spracherkennungen sowie Text-/Sprachgenerierungen ein. Dies mündet unmittelbar in eine

recht überschaubare Datenbasis, was eine verlässliche Schätzung der KI-Arbeitsmarkteffekte schwierig macht.

Gleichwohl gibt es jüngst erste Studien, die sich mit den Arbeitsmarktkonsequenzen von KI wissenschaftlich auseinandersetzen. Acemoglu et al. (2022) nutzen z. B. Informationen aus Online-Stellenausschreibungen, um die Verwendung von KI-Technologien in den USA zu erfassen. Ein KI-Einsatz wird dabei immer dann vermutet, wenn Beschäftigte mit KI-Spezialwissen gesucht werden. Die Autoren zeigen, dass KI zu einer sich verändernden Tätigkeitsstruktur innerhalb von Firmen führt. Die Nachfrage nach KI-kompatiblen Qualifikationen steigt, während die Nachfrage nach bisher notwendigen Qualifikationen abnimmt. Auf Firmenebene ergibt sich durch KI ein negativer Beschäftigungseffekt, d. h., Arbeitsplätze gehen nach der Umstrukturierung eher verloren. Wird allerdings der gesamte Sektor oder der gesamte Beruf betrachtet, also die Ebene der individuellen Firma verlassen, kann kein Beschäftigungseffekt von KI beobachtet werden. Dies scheint vor allem auf die quantitativ überschaubare Datenmenge zurückzuführen sein.

In der Studie von Albanesi et al. (2023) werden die KI-Arbeitsmarkteffekte auf Basis von europäischen Daten geschätzt, wobei der KI-Einsatz durch eine analoge Methodik zur vorher genannten Studie gemessen wird. Im Ergebnis zeigen die Autoren und Autorinnen, dass in Berufen, die besonders von KI betroffen sind, die Beschäftigungsanteile zunehmen, insbesondere in Berufen mit einem hohen Anteil von jungen, hochqualifizierten Beschäftigten.

Computergestützte Automatisierung ersetzt Routinetätigkeiten – dafür gibt es wie beschrieben klare Evidenz. Aber: Die Technologie hat sich hier enorm weiterentwickelt. Durch die Möglichkeit, riesige Datenmengen auswerten zu können, sind Maschinen in der Lage, zu lernen und sich weiterzuentwickeln, um am Ende ggf. menschliches Verhalten imitieren zu können (Arntz et al. 2020a, Brynjolfsson et al. 2018). KI-gestützte Chat-Bots mögen ein erstes recht einfaches Beispiel hierfür sein. Durch diese Entwicklung scheint es plausibel zu sein, dass in Zukunft das Spektrum an Tätigkeiten, welches automatisierbar ist, zunehmen wird. Möglicherweise sind damit auch Nichtroutinetätigkeiten betroffen, d. h. selbst Tätigkeiten, die keinen klaren Regeln unterliegen, könnten in Zukunft durch den Einsatz neuster, digitaler Technologien automatisiert und damit verdrängt werden.

Ist damit also doch das Ende der menschlichen Arbeit zu erwarten, wie eingangs plakativ behauptet? Mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht! Selbst wenn Nichtroutine-tätigkeiten verdrängt werden, können – wie auch bei der etwas älteren computergestützten Automatisierung – neue Tätigkeiten innerhalb von Berufen und/oder neue Berufe entstehen, die oben für die Robotik angebrachten Argumente besitzen grundsätzlich auch hier ihre Gültigkeit. Selbstverständlich ist in den nächsten Jahren die Wissenschaft gefordert, denn mit verbesserter Datenlage werden die Untersuchungsergebnisse aussagekräftiger und repräsentativer.

## 5 Implikationen für die Arbeitgeberberatung

Automatisierungen im Produktionsprozess führen zu strukturellen Änderungen auf dem Arbeitsmarkt. Erstens werden zunehmend Routinetätigkeiten verdrängt, gleichzeitig nimmt die (quantitative und qualitative) Bedeutung von Nichtroutinetätigkeiten zu. Dies führt zu einer Veränderung des Aufgabenspektrums innerhalb von Berufen, zu Weiterentwicklungen bestehender Berufe und zum Entstehen von neuen Berufen, wie beispielsweise Cybersecurity-Analysten und -Analystinnen oder KI-Spezialisten und -Spezialistinnen. Das ist eine Chance für Arbeitskräfte, die komplementäre Fähigkeiten zu den neuen Technologien aufweisen, und ein Risiko für jene, welche die passenden Fähigkeiten weder besitzen noch erarbeiten können. Die Ungleichheit auf dem Arbeitsmarkt droht dadurch zuzunehmen. Zweitens ist eine Anpassung bei der Qualifikationsstruktur der Belegschaft zu beobachten. Firmen, die neue Technologien einsetzen, versuchen verstärkt Personen mit hohem Bildungsabschluss zu gewinnen. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass Personen mit niedrigerem Qualifikationsniveau seltener eine neue Beschäftigung finden. Drittens verlieren Firmen, die nicht die neuste Technologie einsetzen, tendenziell den Anschluss, d. h. sie schrumpfen durch einen Wettbewerbsnachteil, wodurch Arbeitsplätze verloren gehen.

Aus diesen Erkenntnissen könnten sich folgende Konsequenzen für die Arbeitgeberberatung ergeben, wie in Arntz et al. (2018, 2020b) detaillierter dargelegt:

- Der Fokus bei (Wieder-)Besetzungen von Stellen sollte auf Tätigkeiten und Berufen liegen, die zu den neusten Technologien komplementär sind.
- Es sollte versucht werden, der sich verändernden Qualifikationsstruktur durch eine entsprechende Förderung von Aus- und Weiterbildung Rechnung zu tragen. Das Re- bzw. Upskilling von Beschäftigten, auch unter Beteiligung von Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern, scheint daher eine wichtige Aufgabe für eine zukünftige Arbeitsplatzsicherheit zu sein.
- Es scheint sinnvoll zu sein, Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber auf Wettbewerbsnachteile von älteren Technologien hinzuweisen. Auch eine Förderung von technologischen Innovationen auf Firmenebene könnte in Frage kommen, wobei hier noch das richtige Instrumentarium gefunden werden müsste.

Zum Abschluss sei noch ein ganzheitlicher Blick auf die Zukunft der Arbeit erlaubt. Eine Verdrängung von Arbeitsplätzen durch technologischen Fortschritt ist meistens negativ konnotiert. Aber der Arbeitsmarkt ist nicht nur durch die rasanten Technologieentwicklungen geprägt, sondern auch von anderen, ebenso wichtigen Trends wie z. B. die zur Erreichung der Klimaziele notwendige ökologische Transformation des Arbeitsmarktes oder den Fachkräfte- bzw. Personalengpass. Letzterer wird maßgeblich durch den demografischen Wandel verursacht und sorgt dafür, dass offene Stellen nicht besetzt werden können. Gerade hier kann aber Automatisierung durch neue Technologien helfen – werden Arbeitsschritte automatisiert und damit Arbeitsplätze verdrängt, müssen diese auch nicht wiederbesetzt werden. Dies schafft Personalressourcen für die Aufgaben und Berufe, die auf menschliche Arbeitskräfte angewiesen sind.

## Literatur

- Acemoglu, D., Koster, H. R. A. & Ozgen, C. (2023). Robots and Workers: Evidence from the Netherland, *NBER Working Paper*, Nr. 31009.
- Acemoglu, D. & Autor, D. (2011). Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. In: D. Card & O. Ashenfelter (Hg.), *Handbook of Labor Economics*, 4b, S. 1043–1171.
- Acemoglu, D. & Restrepo, P. (2018a). Modeling Automation, *AEA Papers and Proceedings*, 108, S. 48–53.
- Acemoglu, D. & Restrepo, P. (2018b). The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment, *American Economic Review*, 108(6), S. 1488–1542.
- Acemoglu, D. & Restrepo, P. (2020). Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets, *Journal of Political Economy*, 128(6), S. 2188–2244.
- Acemoglu, D., LeLarge, C. & Restrepo, P. (2020). Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France, *AEA Papers and Proceedings*, 110, S. 383–88.
- Acemoglu, D., Autor, D., Hazell, J. & Restrepo, P. (2022). Artificial Intelligence and Jobs: Evidence from Online Vacancies, *Journal of Labor Economics*, 40(S1), S. 293–340.
- Albanesi, S., Dias da Silva, A., Jimeno, J. F., Lamo, A. & Wabitsch, A. (2023). New Technologies and Jobs in Europe, *IZA Discussion Paper*, Nr. 16227.
- Arntz, Melanie, Gregory, T. & Zierahn, U. (2016). s., *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, Nr. 189.
- Arntz, M., Gregory, T. & Zierahn, U. (2017). Revisiting the Risk of Automation, *Economics Letters*, 159, S. 157–160.
- Arntz, M., Gregory, T. & Zierahn, U. (2018). Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Mannheim. Verfügbar unter: <https://www.zew.de/PU79892> (Zugriff am 15.04.2024).
- Arntz, M., Gregory, T. & Zierahn, U. (2020a). Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit, *Wirtschaftsdienst*, 100(13), S. 41–47.
- Arntz, M., Gregory, T. & Zierahn, U. (2020b). Digitization and the Future of Work: Macroeconomic Consequences. In: K. F. Zimmermann (Hg.), *Handbook of Labor, Human Resources and Population Economics*. Cham: Springer.
- Autor, D., Chin, C., Salomons, A. & Seegmiller, B. (2022). New Frontiers: The Origins and Content of New Work, 1940–2018, *NBER Working Paper*, Nr. 30389.
- Autor, D. & Salomons, A. (2018). Is Automation Labor-Displacing? Productivity Growth, Employment, and the Labor Share, *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, S. 1–87.
- Autor, D., Levy, F. & Murnane, R. (2003). The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration, *The Quarterly Journal of Economics*, 118(4), S. 1279–1333.
- Bessen, J. (2015). Toil and technology, *Finance and Development*, 52(1), S. 16–19.
- Bessen, J., Goos, M., Salomons, A. & van den Berge, W. (2023). What Happens to Workers at Firms that Automate? *The Review of Economics and Statistics*, forthcoming.

- Blien, U., Dauth, W. & Roth, D. H. W. (2021). Occupational Routine Intensity and the Costs of Job Loss: Evidence from Mass Layoffs, *Labour Economics* 68.
- Brynjolfsson, E., Mitchell, T. & Rock, D. (2018). What can machines learn, and what does it mean for occupations and the economy? *AEA Papers and Proceedings*, 108, S. 43–47.
- Cortes, G. M., Jaimovich, N., & Siu, H. E. (2017). Disappearing Routine Jobs: Who, How, and Why? *Journal of Monetary Economics*, 91, S. 69–87.
- Dauth, W., Findeisen, S., Südekum, J. & Woessner, N. (2021). The Adjustment of Labor Markets to Robots, *Journal of the European Economic Association*, 19(6), S. 3104–3153.
- Dauth, W., Findeisen, S., Südekum, J. & Woessner, N. (2017). The rise of robots in the German labour market. Verfügbar unter: <https://cepr.org/voxeu/columns/rise-robots-german-labour-market> (Zugriff: 16.04.2024).
- Dengler, K. & Matthes, B. (2015). *Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt, Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland*. IAB-Forschungsbericht, 11/2015. Nürnberg.
- Dengler, K. & Matthes, B. (2018). *Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt*. IAB-Kurzbericht, 4/2018. Nürnberg.
- Dengler, K. & Matthes, B. (2021). *Auch komplexe Tätigkeiten könnten zunehmend automatisiert werden*. IAB-Kurzbericht, 13/2021. Nürnberg.
- Dixon, J., Hong, B. & Wu, L. (2019). The Employment Consequences of Robots: Firm-Level Evidence, *SSRN Discussion Paper*, Nr. 3422581.
- Frey, C. B. & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, S. 254–280.
- Graetz, G. & Michaels, G. (2018). Robots at Work, *The Review of Economics and Statistics*, 100(5), S. 753–768.
- Gregory, T., Salomons, A. & Zierahn, U. (2022). Racing with or Against the Machine? Evidence on the Role of Trade in Europe, *Journal of the European Economic Association*, 20(2), S. 869–906.
- Koch, M., Manuylov, I. & Smolka, M. (2021). Robots and Firms, *The Economic Journal*, 131, S. 2553–2584.
- Schaller, D., Wohlrabe, K. & Wolf, A. (2023). Künstliche Intelligenz: Chance oder Gefahr? Wie verändert der Einsatz von KI unsere Gesellschaft? *Ifo Schnelldienst*, 08/2023, S. 3–28.
- Spiegel (1978). Die Computer-Revolution – Fortschritt macht arbeitslos, Nr. 16/16.04.1978. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/spiegel/print/index-1978-16.html> (Zugriff am 17.01.2024).
- Spiegel (2016). Sie sind entlassen! Wie uns Computer und Roboter die Arbeit wegnehmen und welche Berufe morgen noch sicher sind, Nr. 36/02.09.2016. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/spiegel/print/index-2016-36.html> (Zugriff am 17.01.2024).
- Spitz-Oener, A. (2006). Technical Change, Job Tasks, and Rising Educational Demands: Looking outside the Wage Structure, *Journal of Labor Economics*, 24(2), S. 235–270.

