



Menschen versus Maschinen: Eine Zusammenfassung der Forschung zu den Auswirkungen der Automatisierung von Arbeit

Didem Özkiziltan

Anke Hassel

Zusammenfassung¹

In der wissenschaftlichen Diskussion wird Automatisierung üblicherweise als Oberbegriff verwendet, um verschiedene fortschrittliche Technologien wie Computer, fortschrittliche Robotik und künstliche Intelligenz einzuschließen. Forschungsergebnisse aus der Arbeitsmarktökonomie deuten darauf hin, dass einerseits die Zahl der Arbeitsplätze mit mittlerem Qualifikationsniveau aufgrund der Automatisierung von Aufgaben abnimmt, andererseits neue Arbeitsplätze für nicht-routinemäßige Aufgaben sowohl für hoch- als auch für niedrigqualifizierte Arbeitskräfte geschaffen werden.

Dieser Beitrag analysiert den aktuellen Wissensstand und identifiziert drei Lücken in der Literatur mit einem besonderen Fokus auf Deutschland. Weiterer Forschungsbedarf besteht (1) hinsichtlich der Instrumente, die den Übergang von Arbeitnehmern in neue Berufe unterstützen, (2) bezüglich der Auswirkungen von Automatisierung auf gefährdete Arbeitnehmerinnen, (3) der Rolle und der Auswirkungen von Automatisierung auf die berufliche Bildung und (4) der Rolle von Mitbestimmung.

Was ist digitale Automatisierung?

Automatisierung beschreibt im Allgemeinen den Ersatz von menschlicher Arbeit durch Maschinen, oder anders ausgedrückt, durch Kapital (Eurofound, 2017, Acemoglu und Restrepo, 2019). Dies ist keine neue Entwicklung, da während der letzten zwei Jahrhunderte Maschinen die menschliche Arbeit ersetzt haben. Was die Automatisierung heute von vergangenen Epochen unterscheidet, ist der Einsatz digitaler Technologien, die mit der Erfindung des Mikroprozessors in den frühen 1970er Jahren möglich wurde. Dank des Mikroprozessors hat sich die digitale Revolution mit zuverlässigen Netzwerkverbindungen, Big-Data-Analysen, algorithmischen Entscheidungsfindungen und digitalen Sensoren immer schneller entfaltet.

Maschinen, Aufgaben und Jobs: Der „routine biased technological change“ Ansatz

Wie viele Arbeitsplätze wurden bisher von Maschinen übernommen? Welche Jobs und Berufe sind am stärksten gefährdet, automatisiert zu werden? Wird die menschliche Arbeitskraft in der zukünftigen Arbeitswelt irrelevant sein? Diese Fragen haben in letzter Zeit

¹ Diese Zusammenfassung stellt die wichtigsten Ergebnisse unseres Arbeitspapiers vor: Humans versus Machines: An Overview of Research on the Effects of Automation of Work, verfügbar unter: https://digitalage.berlin/wp-content/uploads/2021/02/Ozkiziltan_Hassel_Automation_18-08-20.pdf. Die Forschung wird im Rahmen des Projekts "Governing Work in the Digital Age" an der Hertie School of Governance, Berlin, durchgeführt. Es wird vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert.

große wissenschaftliche Aufmerksamkeit erregt. Viele ForscherInnen gehen diesen Fragen nach, indem sie einen Ansatz verwenden, der gemeinhin als „routine biased technological change“ (im Folgenden RBTC) bekannt ist.

Die RBTC-Hypothese enthält mehrere Schlüsselannahmen (Autor *et al.*, 2003, Arntz *et al.*, 2016b, Eurofound, 2016, Nedelkoska und Quintini, 2018). Einige davon sind:

- Aufgaben und Fähigkeiten sind zwei verschiedene Variablen. Eine Aufgabe ist eine Tätigkeitseinheit, die bei der Arbeit ausgeführt wird und einen Output erzeugt. Fähigkeiten sind menschliche Fertigkeiten, die zur Erfüllung einer Aufgabe erforderlich sind. Zumindest derzeit ersetzt die Automatisierung die Aufgaben und nicht die Fähigkeiten. Jede Aufgabe kann sowohl von Maschinen als auch von ArbeiterInnen ausgeführt werden, abhängig vom technologischen Fortschritt und den Kosten der Automatisierung im Vergleich zur menschlichen Arbeitskraft.
- Automatisierung ersetzt meist Routineaufgaben, die einer genau definierten Praxis folgen. Routineaufgaben können manuell oder kognitiv ausgeführt werden und gehören oft zu den mittelbezahlten, mittelqualifizierten Jobs, wie Buchhaltung, Büro- und Produktionstätigkeiten.
- Die Automatisierung ergänzt manuelle und kognitive Nicht-Routineaufgaben im Zusammenhang mit Problemlösungen und komplexen Kommunikationstätigkeiten. Manuelle, nicht-routinemäßige Aufgaben sind schwer durch Maschinen zu ersetzen, da diese Anpassungsfähigkeit, visuelle und sprachliche Fähigkeiten sowie persönliche Interaktionen erfordern. Diese Tätigkeiten sind in niedrig bezahlten Dienstleistungsberufen wie Gastronomie, Reinigung, Hausmeisterstätigkeiten, Gesundheits-, Kinder- und Altenpflege sowie Sicherheitsdiensten weit verbreitet. Kognitive Nicht-Routineaufgaben beinhalten Problemlösung, Intuition, Kreativität und Überzeugungskraft. Typischerweise fallen professionelle, technische und leitende Berufe wie Medizin, Ingenieurwesen, Design, Wissenschaft, Recht und Marketing in diese Kategorie.

Mensch vs. Maschine: Beschäftigung in Zeiten der Automatisierung

Bisher haben in der RBTC-Literatur zwei Hauptargumente die Debatte über den Ersatz menschlicher Arbeit durch Maschinen dominiert.

Argument 1: Maschinen sind zunehmend in der Lage, manuelle und kognitive Aufgaben bei der Arbeit zu bewältigen, was Menschen auf zukünftigen Arbeitsmärkten überflüssig machen würde (Frey und Osborne, 2013, Bowles, 2014, Brzeski und Burk, 2015, Brynjolffson und McAfee, 2016).

Dieses Argument wird von Frey und Osborne (2013) (im Folgenden FO) mit der Behauptung angeführt, dass die Automatisierung fast aller Aufgaben und Berufe technologisch möglich ist, wenn entsprechende Daten für die Mustererkennung gesammelt werden. Laut FO besteht ein hohes Risiko, dass 47 % der Arbeitsplätze in den USA bis 2033 verschwinden. Unter Anwendung der FO-Methodik schätzte Bowles (2014), dass zwischen 45 und 60 % der Arbeitsplätze in Europa einem hohen Risiko ausgesetzt sind, innerhalb der nächsten 20 Jahre zu verschwinden. Mit der gleichen Methodik fanden Brzeski und Burk (2015) heraus, dass 59 % der Arbeitsplätze in Deutschland bis 2033 mit einem hohen Risiko behaftet sind, durch Automatisierung ersetzt zu werden.

Nach Ansicht einiger AutorInnen leidet die Studie von FO unter zwei wesentlichen Mängeln. Erstens beruhen die Informationen über den Aufgabeninhalt des O*NET-Datensatzes, der in ihrer Studie verwendet wurde, auf der Einschätzung von ForscherInnen und ExpertInnen des Arbeitsmarktes und der ArbeitnehmerInnen in einem bestimmten Beruf. Daher ist der O*NET-Datensatz nicht in der Lage, die individuelle Aufgabenzusammensetzung jedes Jobs/ jeder Beschäftigung auf dem Arbeitsmarkt zu liefern (Arntz et al., 2016a, Nedelkoska und Quintini, 2018). Zweitens weisen Kritiker darauf hin, dass Berufe aus verschiedenen Aufgaben bestehen, die miteinander gebündelt sind, und es sind die Aufgaben, die für die Automatisierung anfällig sind, und nicht die gesamten Berufe (Arntz et al., 2016a, Eurofound, 2018).

Um diese Lücken zu schließen, haben Arntz et al. (2016a) den Anteil der Arbeitsplätze, die von der Automatisierung bedroht sind, für 21 OECD-Länder, darunter auch die USA, neu berechnet. Für ihre Analyse haben die Autoren die PIAAC-Datenbank (Programme for the International Assessment of Adult Competencies) der OECD aus dem Jahr 2012 verwendet, die auf individuellen Umfragedaten basiert und eine umfassende Liste von Aufgaben liefert, die ArbeitnehmerInnen tatsächlich an ihrem Arbeitsplatz ausführen. Arntz et al. (2016a) stellten fest, dass in den 21 OECD-Ländern im Durchschnitt 9 % der Arbeitsplätze hoch automatisierbar sind. Sie haben weiterhin Unterschiede zwischen OECD-Ländern festgestellt:

So liegt der Anteil der in hohem Maße automatisierbaren Arbeitsplätze in Korea bei 6 %, in Deutschland bei 12 % und in den USA bei 9 %.

Nedelkoska und Quintini (2018) analysierten ebenfalls das Risiko von Arbeitsplatzverlusten durch Automatisierung, indem sie auf die Arbeit von Arntz et al. (2016a) aufbauten und die PIAAC-Datenbank der OECD für die Jahre 2011/2012 und 2014/2015 nutzten. Die Autorinnen berechneten, dass etwa 14 % der Arbeitsplätze in OECD-Ländern hochgradig automatisierbar sind, was bis zu über 66 Millionen ArbeitnehmerInnen in den 32 von der Studie erfassten Ländern betrifft. Nedelkoska und Quintini (2018) stellten fest, dass das tatsächliche Risiko der Automatisierung in den einzelnen Ländern stark variiert, von 33 % aller Arbeitsplätze in der Slowakei bis zu 18 % in Deutschland und 6 % in Norwegen.

Argument 2: Automatisierung führt zu einer Polarisierung der Beschäftigung auf den Arbeitsmärkten der entwickelten Volkswirtschaften (Autor *et al.*, 2003, Spitz-Oener, 2006, Goos *et al.*, 2014, Eurofound, 2016, Bisello *et al.*, 2019).

Die Beschäftigungspolarisierung befasst sich mit einem Aushöhlungsprozess auf den Arbeitsmärkten, bei dem ein Rückgang des Anteils an routineintensiven, mittelmäßig bezahlten und mittelqualifizierten Arbeitsplätzen mit einem wachsenden Anteil an nicht-routineintensiven, hochbezahlten und hochqualifizierten Arbeitsplätzen sowie an nicht-routineintensiven, niedrigbezahlten und niedrigqualifizierten Arbeitsplätzen einhergeht. Ausgehend von Autor *et al.* (2003) sind die Befürworter des Arguments der Beschäftigungspolarisierung zu vergleichbar ähnlichen und komplementären Ergebnissen für verschiedene Länder gekommen. Autor *et al.* (2003) stellten fest, dass die digitale Automatisierung den Einsatz von manuellen und kognitiven Routineaufgaben reduziert hat, während der Einsatz von nicht-routinemäßigen kognitiven Aufgaben innerhalb von Branchen, Berufen und Bildungsgruppen in den USA von 1960 bis 1998 zugenommen hat. Goos *et al.* (2014), Eurofound (2016) und Bisello *et al.* (2019) fanden heraus, dass in den letzten Jahrzehnten Routineaufgaben, die sich wiederholen und/oder körperliche Kraft erfordern, abgenommen haben, während nicht-routinemäßige Aufgaben, die sich auf soziale, literarische und IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) -Fähigkeiten beziehen, in den europäischen Ländern zugenommen haben.

Angewandt auf Deutschland hat das Argument der Beschäftigungspolarisierung einige interessante Ergebnisse geliefert. So stellte Spitz-Oener (2006) für den Zeitraum von 1979 bis 1999 einen erheblichen Rückgang kognitiver und manueller Routineaufgaben fest, die früher

von Arbeitskräften mit mittlerer Qualifikation ausgeführt wurden, und eine deutliche Zunahme analytischer und interaktiver Tätigkeiten, die hochqualifizierte Arbeitskräfte mit hohem Bildungsstand erfordern. Eine Reihe neuerer Untersuchungen bestätigt ebenfalls einen bemerkenswerten und kontinuierlichen Wandel in der Beschäftigung, weg von routinemäßigen, mittelqualifizierten Tätigkeiten und hin zu einer zunehmenden Automatisierung der Arbeit in Deutschland (Fernández-Macías, 2015, Consoli und Roy, 2017, Bachmann *et al.*, 2019).

Einige neuere Studien haben die regionalen und individuellen Auswirkungen der Beschäftigungspolarisierung in Deutschland offengelegt. Zu ersterem stellten Consoli und Roy (2017) fest, dass der Anstieg der Importe von Waren und Dienstleistungen zum Rückgang der Zahl der Routinearbeitsplätze in Westdeutschland beitrug. Sie beobachteten auch, dass in den regionalen Beschäftigungsgebieten Westdeutschlands, in denen der Anteil der Routinetätigkeiten anfänglich hoch war, zwischen den Jahren 1979-2012 ein höherer Einsatz von IKT und ein größerer Rückgang des Anteils der Routinetätigkeiten stattfand.

In Bezug auf die Auswirkungen der Automatisierung auf Individuen in Deutschland haben Bachmann *et al.* (2019) herausgefunden, dass Personen, die in Routinejobs arbeiten, sowohl nach einem Jahr (kurzfristig) als auch nach fünf Jahren (mittelfristig) mit einem höheren Risiko der Arbeitslosigkeit konfrontiert sind. Die Autoren fanden jedoch auch heraus, dass der Nachteil, in einem Routinejob zu sein, zum Teil durch höhere Arbeitsfindungsraten ausgeglichen wird. Eine weitere Studie auf individueller Ebene wurde von Janssen und Mohrenweiser (2018) durchgeführt, mit der Erkenntnis, dass in Zeiteinsparungen technologischen Wandels die etablierten ArbeitnehmerInnen mit veralteten Qualifikationen in der deutschen Metallindustrie eher ihren Arbeitsplatz an neu ausgebildete Berufseinsteiger mit aktuellen IT-Kenntnissen verlieren. Trotzdem sind sie kaum von Arbeitslosigkeit betroffen, da sie innerhalb dieser Branche ihren Beruf oder in den Dienstleistungssektor wechseln.

Menschen im Wettbewerb mit Maschinen: Eine Erklärung der Dynamik

Die verfügbaren Erkenntnisse deuten darauf hin, dass Automatisierung bisher mehr neue Arbeitsplätze geschaffen als vernichtet hat. ArbeitnehmerInnen sind also durchaus in der Lage, mit Maschinen mithalten (anstatt gegen sie anzutreten) (Arntz *et al.*, 2016b, Goos *et al.*, 2019). Warum wirkt sich RBTC nicht negativ auf das aggregierte Beschäftigungsniveau in den entwickelten Volkswirtschaften aus, obwohl es Routineaufgaben ersetzt? Zur

Erklärung dieser Frage weisen Acemoglu und Restrepo (2019) auf drei Anpassungsmechanismen hin. Der erste ist der *Verdrängungseffekt* der Automatisierung, der sich mit dem direkten Ersatz menschlicher Arbeit durch Maschinen befasst. Der zweite ist der *Produktivitätseffekt*, der eine wachsende Nachfrage nach Arbeitskräften für nicht-automatisierte Aufgaben (z. B. Kinderbetreuung, persönliche Pflege, Catering, Verkauf) kennzeichnet, da der sinkende Preis für automatisierte Aufgaben die Wirtschaft ankurbelt. Drittens gibt es den *Wiederherstellungseffekt*, der die Schaffung neuer Aufgaben anzeigt, bei denen die Arbeit einen komparativen Vorteil hat (z. B. Entwicklung, Betrieb und Wartung neuer Maschinen und Software).

Gleichzeitig mit diesen drei Anpassungsmechanismen der Automatisierung wirken auch andere Kräfte. Erstens schaffen **verschiedene wirtschaftliche, soziale und politische Aspekte** Hindernisse bei der alltäglichen Nutzung neuer Technologien. Im wirtschaftlichen Bereich werden trotz der theoretischen Möglichkeit, dass alle Aufgaben automatisiert werden können, im echten Leben Aufgaben erst automatisiert, wenn ihre Zuweisung an Maschinen mehr Gewinn bringt (Acemoglu und Restrepo, 2018). Darüber hinaus erfordert die Einführung neuer Technologien organisatorische Umstrukturierungen, neue Fähigkeiten und neue MitarbeiterInnen, was zusätzliche Kosten für Unternehmen verursacht (Brynjolfsson *et al.*, 2019). In Bezug auf soziale und politische Fragen spielen Mindestlohnmechanismen, Tarifverhandlungen und andere Institutionen der Lohngestaltung eine wichtige Rolle bei der Entscheidung von Unternehmen, Aufgaben zu automatisieren, da diese einen spürbaren Einfluss auf die Arbeitskosten haben können (Arntz *et al.*, 2019). Darüber hinaus erfordert der Einsatz einiger neuer Technologien, wie im Fall von fahrerlosen Autos, die Berücksichtigung verschiedener ethischer und rechtlicher Dilemmata, die noch zu lösen sind (Bonnenfon *et al.*, 2016, Lee, 2017). Es wird auch darauf hingewiesen, dass, selbst wenn einige Aufgaben vollständig automatisierbar sind, z. B. Musikproduktion oder das Backhandwerk, die Menschen bei der Ausführung einiger Aufgaben menschliche Arbeit gegenüber Maschinen bevorzugen könnten (Pratt, 2015), wodurch Menschen in der Lage sind, mit anstatt gegen Maschinen zu konkurrieren.

Zweitens erleben viele entwickelte Volkswirtschaften laut MIT (2019) derzeit einen bemerkenswerten **demografischen Wandel**, ausgelöst durch Faktoren wie das schleppende Wachstum der Erwerbsbevölkerung, das stark sinkende Verhältnis von Erwerbstätigen zu RentnerInnen und eine strengere Einwanderungspolitik. So werden laut MIT (2019: 10) „die

Industrieländer in den nächsten zwei Jahrzehnten mit mehr offenen Stellen als arbeitsfähigen Erwachsenen zu kämpfen haben, die sie besetzen können."

Drittens wird argumentiert, dass die Einführung neuer Technologien am Arbeitsplatz eher die **Aufgabenzusammensetzung** von Arbeitsplätzen verändert, als ganze Berufe zu ersetzen (Spitz-Oener, 2006, Arntz *et al.*, 2016b, Arntz *et al.*, 2019). Eine solche Veränderung der Aufgabenzusammensetzung führt dazu, dass diejenigen, die in Berufen mit hohem Automatisierungsrisiko arbeiten, Aufgaben übernehmen, die schwer zu automatisieren sind (Arntz *et al.*, 2017, Arntz *et al.*, 2019). Tatsächlich war es laut Dauth *et al.* (2021) im Zeitraum von 1994 bis 2019 in Deutschland wahrscheinlicher, dass durch Roboter gefährdete ArbeitnehmerInnen ihre bestehenden Arbeitsplätze mit einer möglichen Änderung der Aufgabenzusammensetzung behalten. In ähnlicher Weise fand Spitz-Oener (2006) heraus, dass im Zeitraum von 1979-1999, mehr als 99 % der ArbeitnehmerInnen in Westdeutschland ihre Aufgaben entsprechend der sich verändernden Technologie anpassten und weniger als 1 % der ArbeitnehmerInnen ihren Arbeitsplatz direkt verloren, weil ihre Arbeit durch Maschinen ersetzt wurde.

Automatisierung: Die Umstrukturierung der Arbeit

In der Automatisierungsliteratur wird gemeinhin argumentiert, dass technologische Entwicklungen die Qualifikationsanforderungen für Berufe erhöhen (Brynjolffson und McAfee, 2016, Eurofound, 2017, Goos *et al.*, 2019). Diese komplexeren Fähigkeiten bestehen aus einer neuartigen Kombination von Hard- und Soft Skills. Hard Skills sind solche, die mit IKT zu tun haben, wie z. B. die Beherrschung verschiedener Betriebssysteme und Bürosoftware, grundlegende Codierung und Grafikdesign. Soft Skills sind die kognitiven, nicht-routinemäßigen Fähigkeiten, einschließlich zwischenmenschlicher Interaktion, sozialer Intelligenz, unternehmerischem Denken, Kreativität, Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und Problemlösung (Eurofound, 2017). Forschungsergebnisse deuten auch darauf hin, dass neue Technologien zunehmend andere Arbeitsarrangements ermöglichen, wie z. B. Auslagerung von Arbeitsplätzen, Outsourcing, Nutzung von Heimarbeitsplätzen, Plattformen und Crowdsourcing (Goos *et al.*, 2014, Eurofound und ILO, 2017). Diese Veränderungen der Qualifikationsanforderungen und Arbeitsarrangements haben wiederum fünf Implikationen für die Struktur von Arbeit und Beschäftigung.

(1) Wenn sich die Qualifikationsanforderungen von Arbeitsplätzen ändern, gehen ArbeitnehmerInnen mit mittlerer und niedriger Qualifikation sowie mit mittlerem und

niedrigem Bildungsniveau als Verlierer der Automatisierung hervor. Dies liegt daran, dass sie unter hohem Druck stehen, sich auf die sich verändernde Art der Arbeit einzulassen, indem sie sich beruflich weiterbilden, um neue Fähigkeiten zu erlangen und/oder die vorhandenen zu verbessern. Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass gerade diese Gruppe Schwierigkeiten beim Zugang zu Weiterbildungsmöglichkeiten hat (Bassanini und Ok, 2004, Albert *et al.*, 2010).

(2) Weiterhin verstärkt Automatisierung bereits bestehende Ungleichheiten in der Arbeitswelt, indem sie eine große Gruppe von Verlierern schafft. Wenn sich ArbeitnehmerInnen nicht an die Veränderungen anpassen können, sinken entweder ihre Löhne im Vergleich zu hochqualifizierten ArbeitnehmerInnen (Cortes, 2016, Dauth *et al.*, 2021), oder sie sind gezwungen, geringer qualifizierte und schlechter bezahlte Jobs anzunehmen (Autor und Dorn, 2013, Janssen und Mohrenweiser, 2018). Wie Janssen und Mohrenweiser (2018) im Fall von Deutschland beobachteten, erlebten beispielsweise etablierte ArbeitnehmerInnen mit veralteten Qualifikationen nach der Einführung von CNC (Computerized Numerical Control) in der metallverarbeitenden Industrie geringere Lohnzuwächse, wurden seltener befördert, wechselten eher den Beruf und mussten zunehmend schlecht bezahlte Dienstleistungsjobs annehmen.

(3) Drittens wird diese zunehmende Ungleichheit in der Arbeitswelt wahrscheinlich Frauen, junge (OECD, 2019) und ältere (Aubert *et al.*, 2006, Autor und Dorn, 2009) ArbeitnehmerInnen sowie diejenigen ohne Hochschulabschluss (OECD, 2019) betreffen, da diese sich häufig in der Situation befinden, sich für die am unteren Ende des Arbeitsplatzspektrums angesiedelten Jobs entscheiden zu müssen.

(4) Selbst für ArbeitnehmerInnen mit geringem Risiko, ihren Arbeitsplatz zu verlieren, bringt die neue Arbeitswelt verschiedene Herausforderungen mit sich. Da zum Beispiel die physischen Grenzen mit dem Einsatz neuer Technologien zunehmend verschwinden, arbeiten viele Arbeitnehmer isoliert und haben kaum oder gar keine Aussicht auf kollektive Vertretung und Solidarität (Eurofound, 2018, Parolin, 2019). Darüber hinaus wurde bei hochqualifizierten Tätigkeiten, wie z. B. Führungs- und Fachkräften, eine deutliche Zunahme der Wiederholbarkeit und Standardisierung festgestellt, was darauf hindeutet, dass die Automatisierung die Routinisierung einiger zuvor nicht-routinemäßiger kognitiver Aufgaben erleichtert (Bisello *et al.*, 2019).

(5) Fünftens wird berichtet, dass diejenigen, die mit Robotern zusammenarbeiten, sich in einem Arbeitsumfeld wiederfinden, in dem sie ständig neue Qualifikationen sowie technische und organisatorische Fähigkeiten erwerben müssen. Dieser ständige Veränderungsbedarf tritt vor allem deshalb auf, weil Systemintegratoren und Roboterhersteller selten die sozialen Auswirkungen neuer Technologien auf die Arbeitsumgebung berücksichtigen (Moniz und Krings, 2016).

Die Lücken in der Literatur zur Beschäftigungspolarisierung

Die Literatur zur Beschäftigungspolarisierung umfasst einen wachsenden Bestand an empirischen Studien. Allerdings gibt es immer noch zu wenig erforschte Bereiche wie z. B.:

- Wie sind die deutschen Berufsbildungssysteme von der Beschäftigungspolarisierung betroffen und wie können mittlere Qualifikationen geschützt werden?
- Wie sind verschiedene Gruppen auf dem Arbeitsmarkt von der Automatisierung betroffen, insbesondere gefährdete Gruppen wie Frauen, jüngere, behinderte, ältere und migrantische ArbeitnehmerInnen sowie ArbeitnehmerInnen unterschiedlicher ethnischer Herkunft? Können Übergangsinstrumente dazu beitragen, Segregation auf dem Arbeitsmarkt zu vermeiden und den sozialen Zusammenhalt zu fördern?
- Wie nutzen die unterschiedlichen Gruppen von ArbeitnehmerInnen die Möglichkeiten der beruflichen Bildung und des lebenslangen Lernens? Gibt es Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen hinsichtlich der Art und Weise, wie sie ihre Ausbildungschancen erhalten und nutzen?
- Wie wirkt sich die Automatisierung auf die Mitsprache der ArbeitnehmerInnen aus und umgekehrt? Üben ArbeitnehmerInnen aus verschiedenen Sektoren, mit unterschiedlichen Qualifikationsniveaus und unterschiedlichem sozioökonomischem Hintergrund (z. B. Frauen, ältere, jüngere, Wanderarbeiter) ihre Handlungskompetenz auf unterschiedliche Weise aus, um zu besseren Arbeitsbedingungen beizutragen?
- Wie kann die berufliche Bildung mit der Polarisierung der Beschäftigung umgehen?

Fazit

Derzeit gibt es eine wachsende Menge an Literatur darüber, wie die digitale Automatisierung die Arbeitswelt verändert, indem sie die Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen beeinflusst. Da Deutschland in hohem Maße auf mittlere Qualifikationen angewiesen ist und stark in die Ausbildung investiert, müssen künftige Studien sorgfältig untersuchen, wie die

deutschen Ausbildungseinrichtungen die Aufwärtsmobilität für die mittelmäßig qualifizierten, mittelmäßig ausgebildeten ArbeitnehmerInnen gewährleisten können. Angesichts der Tatsache, dass der Einfluss von Betriebsräten und Gewerkschaften im deutschen System immer noch allgegenwärtig ist (wenn auch rückläufig), sollten wir außerdem erwarten, dass Mitbestimmungsrechte und Tarifverträge den Verlauf technologiegetriebener Unternehmensumstrukturierungen prägen. Studien in der Arbeitsökonomie haben jedoch nur selten die Rolle der Mitsprache der ArbeitnehmerInnen mit der Automatisierung in Verbindung gebracht. Um diese Forschungslücke zu schließen, wird empfohlen, weitere Forschung zu betreiben, um die Erkenntnisse der Industriesoziologie auf die vorhandenen Daten und Erkenntnisse zur Beschäftigungspolarisierung anzuwenden. Schließlich berücksichtigt die Forschung zu den Auswirkungen der Automatisierung selten die individuellen Merkmale von ArbeitnehmerInnen. Eine neue Forschungsagenda sollte ein besonderes Augenmerk auf gefährdete und marginalisierte Gruppen auf den Arbeitsmärkten legen und die besten Praktiken der ArbeitnehmerInnen bei der Bewältigung der Umstrukturierung des Arbeitsmarktes einbeziehen.

Literaturverzeichnis

- ACEMOGLU, D. & RESTREPO, P. (2018). The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *American Economic Review*, 108(6), pp 1488-1542.
- ACEMOGLU, D. & RESTREPO, P. (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), pp 3-30.
- ALBERT, C., GARCÍA-SERRANO, C. & HERNANZ, V. (2010). On-the-Job Training in Europe: Determinants and Wage Returns. *International Labour Review*, 149, pp 315-341.
- ARNTZ, M., GREGORY, T. & ZIERAHN, U. (2016a). *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis*. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. Available: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5jlz9h56dvq7-en.pdf?expires=1612163008&id=id&accname=guest&checksum=FC7BED678439756C31A6FBC6989A2CD1> [Accessed 04/03/2020]
- ARNTZ, M., GREGORY, T. & ZIERAHN, U. (2016b). *Robotics and Employment. Consequences of Robotics and Technological Change for the Structure and Level of Employment, Deliverable D3.4.1 – Part 1 for Sparc Via Rockeu, Funded by EU Fp7*

- Grant Agreement Number 611247. Mannheim. Available:
<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/146501/1/867017465.pdf> [Accessed 04/03/2020]
- ARNTZ, M., GREGORY, T. & ZIERAHN, U. (2017). Revisiting the Risk of Automation. *Economics Letters*, 159, pp 157–160.
- ARNTZ, M., GREGORY, T. & ZIERAHN, U. (2019). Digitization and the Future of Work: Macroeconomic Consequences. In: ZIMMERMANN, K. F. (ed.) *Handbook of Labor, Human Resources and Population Economics*. Cham: Springer International Publishing, pp. 1-29.
- AUBERT, P., CAROLI, E. & ROGER, M. (2006). New Technologies, Organisation and Age: Firm-Level Evidence. *The Economic Journal*, 116(509), pp 73-93.
- AUTOR, D. & DORN, D. (2009). This Job Is “Getting Old”: Measuring Changes in Job Opportunities Using Occupational Age Structure. *American Economic Review: Papers & Proceedings*, 99(2), pp 45-51.
- AUTOR, D. & DORN, D. (2013). The Growth of Low Skill Service Jobs and the Polarization of the U.S. Labor Market. *American Economic Review*, 103(5), pp 1553-1597.
- AUTOR, D. H., LEVY, F. & MURNANE, R. J. (2003). The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, November, pp 1279-1333.
- BACHMANN, R., CIM, M. & GREEN, C. (2019). Long-Run Patterns of Labour Market Polarization: Evidence from German Micro Data. *British Journal of Industrial Relations*, 57, pp 350-376.
- BASSANINI, A. & OK, W. (2004). *How Do Firms’ and Individuals’ Incentives to Invest in Human Capital Vary across Groups?* CEPN Working Papers. Available:
<https://econpapers.repec.org/paper/halcepnwp/halshs-00194344.htm> [Accessed 10/04/2020].
- BISELLO, M., PERUFFO, E., FERNÁNDEZ-MACÍAS, E. & RINALDI, R. (2019). *How Computerisation Is Transforming Jobs Evidence from Eurofound’s European Working Conditions Survey. Jrc117167*. Seville: European Commission. Available:
<https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc117167.pdf> [Accessed 10/04/2020].
- BONNEFON, J., SHARIFF, A. & RAHWAN, I. (2016). Autonomous Vehicles Need Experimental Ethics: Are We Ready for Utilitarian Cars? *Science*, 352(6293), pp 1573-1576.

- BOWLES, J. (2014). *The Computerization of European Jobs* [Online]. Brussels: Bruegel. Available: <https://www.bruegel.org/2014/07/the-computerisation-of-european-jobs> [Accessed 06/03/2020].
- BRYNJOLFFSON, E. & MCAFEE, A. (2016). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. London: W.W. Norton.
- BRYNJOLFSSON, E., ROCK, D. & SYVERSON, C. (2019). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. In: AGRAWAL, A. K., GANS, J. & GOLDFARB, A. (eds.) *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. pp.
- BRZESKI, C. & BURK, I. (2015). *Die Roboter Kommen. Folgen Der Automatisierung Für Den Deutschen Arbeitsmarkt* ING DiBa Economic Research. Available: <https://www.ing.de/binaries/content/assets/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-analysis-die-roboter-kommen.pdf> [Accessed 06/03/2020].
- CONSOLI, D. & ROY, I. (2017). *Employment Polarization in Germany: Role of Technology, Trade and Human Capital* Jena Economic Research Papers, No. 2015-017. Available: <http://hdl.handle.net/10419/126531> [Accessed 11/05/2020].
- CORTES, G. M. (2016). Where Have the Middle-Wage Workers Gone? A Study of Polarization Using Panel Data. *Journal of Labor Economics*, 34(1), pp 63-105.
- DAUTH, W., FINDEISEN, S., SÜDEKUM, J. & WÖBNER, N. (2021). The Adjustment of Labor Markets to Robots. *Journal of the European Economic Association* (forthcoming). An earlier version of this paper is available as: DAUTH, W., FINDEISEN, S., SÜDEKUM, J. & WÖBNER, N. (2017). German Robots – the Impact of Industrial Robots on Workers. The Adjustment of Labor Markets to Robots. IAB Discussion Paper 30/2017. Available: <http://doku.iab.de/discussionpapers/2017/dp3017.pdf> [Accessed 24/02/2020].
- EUROFOUND (2016). *What Do Europeans Do at Work? A Task-Based Analysis: European Jobs Monitor 2016*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available: <https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2016/labour-market/what-do-europeans-do-at-work-a-task-based-analysis-european-jobs-monitor-2016> [Accessed 25/02/2020].
- EUROFOUND. (2017). *Automation of Work: Literature Review* Available: <https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/wpef17039.pdf> [Accessed 24/02/2020].

- EUROFOUND (2018). *Automation, Digitisation and Platforms: Implications for Work and Employment*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available: <https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2018/automation-digitisation-and-platforms-implications-for-work-and-employment> [21/02/2020].
- EUROFOUND AND ILO (2017). *Working Anytime, Anywhere: The Effects on the World of Work*. Luxembourg & Geneva: Publications Office of the European Union & the International Labour Office. Available: <https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2017/working-anytime-anywhere-the-effects-on-the-world-of-work> [21/02/2020].
- FERNÁNDEZ-MACÍAS, E. (2015). *Job Polarisation in Europe: Are Mid-Skilled Jobs Disappearing?* Social Europe Volume 2. Available: <https://www.socialeurope.eu/job-polarisation-in-europe-are-mid-skilled-jobs-disappearing> [Accessed 09/09/2020].
- FREY, C. B. & OSBORNE, M. A. (2013). *The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?* University of Oxford. Available: <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/future-of-employment.pdf> [Accessed 18/02/2020].
- GOOS, M., ARNTZ, M., ZIERAHN, U., GREGORY, T., CARRETERO GÓMEZ, S., GONZÁLEZ VÁZQUEZ, I. & JONKERS, K. (2019). *The Impact of Technological Innovation on the Future of Work*. Seville: European Commission. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/impact-technological-innovation-future-work> [Accessed 19/02/2020].
- GOOS, M., MANNING, A. & SALOMONS, A. (2014). Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring. *American Economic Review* 104(8), pp 2509-2526.
- JANSSEN, S. & MOHRENWEISER, J. (2018). *The Shelf Life of Incumbent Workers During Accelerating Technological Change: Evidence from a Training Regulation Reform*. *Iza Discussion Paper No.11312*. Institute of Labour Economics. Available: <https://www.iza.org/publications/dp/11312/the-shelf-life-of-incumbent-workers-during-accelerating-technological-change-evidence-from-a-training-regulation-reform> [Accessed 18/05/2020].
- LEE, C. (2017). Grabbing the Wheel Early: Moving Forward on Cybersecurity and Privacy Protections for Driverless Cars. *Federal Communications Law Journal*, 69(1), pp 25-52.

- MIT. (2019). *The Work of the Future: Shaping Technology and Institutions*. Mit Task Force On The Work Of The Future. Available:
https://workofthefuture.mit.edu/sites/default/files/2019-09/WorkoftheFuture_Report_Shaping_Technology_and_Institutions.pdf [Accessed 20/02/2020].
- MONIZ, A. & KRINGS, B. (2016). Robots Working with Humans or Humans Working with Robots? Searching for Social Dimensions in New Human-Robot Interaction in Industry. *Societies*, 6(3), Available: <https://www.mdpi.com/2075-4698/2076/2073/2023/htm> [Accessed 20/03/2020].
- NEDELKOSKA, L. & QUINTINI, G. (2018). *Automation, Skills Use and Training*. OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 202. Available:
<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/2e2f4eea-en.pdf?expires=1582709268&id=id&accname=guest&checksum=1BA89870606B83DA740F892CCC5323B1> [Accessed 22/02/2020].
- OECD (2019). *OECD Employment Outlook 2019: The Future of Work*. Available:
https://www.oecd-ilibrary.org/employment/oecd-employment-outlook-2019_9ee00155-en [Accessed 23/02/2020].
- PAROLIN, Z. (2019). *Automation and Occupational Wage Trends: What Role for Unions and Collective Bargaining?* Luxembourg: Luxembourg Income Study (LIS) Working Paper Series, No. 767. Available: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/596b32ce-en.pdf?expires=1612163780&id=id&accname=guest&checksum=CBEC61CCEE012452B44A04E7592AC52E> [Accessed 25/02/2020].
- PRATT, G. A. (2015). Is a Cambrian Explosion Coming for Robotics? *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), pp 51-60.
- SPITZ-OENER, A. (2006). Technical Change, Job Tasks, and Rising Educational Demands: Looking Outside the Wage Structure. *Journal of Labor Economics*, 24(2), pp 235-270.