



OECD Social, Employment and Migration Working Papers
No. 256

Die Auswirkungen von KI
auf die Arbeitsmärkte: Was
wir bislang wissen

**Marguerita Lane,
Anne Saint-Martin**

<https://dx.doi.org/10.1787/540444e1-de>

**DIREKTION BESCHÄFTIGUNG, ARBEIT UND SOZIALFRAGEN
AUSSCHUSS FÜR BESCHÄFTIGUNG, ARBEIT UND SOZIALFRAGEN**

Cancels & replaces the same document of 12 January 2021

Die Auswirkungen von KI auf die Arbeitsmärkte: Was wir bislang wissen

JEL Codes: J20, J81, J31, O14, O33.

Zur Veröffentlichung freigegeben von Stefano Scarpetta, Leiter der OECD-Direktion Beschäftigung, Arbeit und Sozialfragen

Marguerita Lane, marguerita.lane@oecd.org
Anne Saint-Martin, anne.saint-martin@oecd.org

JT03470411

Arbeitsdokumente der OECD zu Sozial-, Beschäftigungs- und Migrationsfragen

www.oecd.org/els/workingpapers

Die Studien aus der Reihe OECD Working Papers sollten nicht so wiedergegeben werden, als spiegelten sie die offizielle Einstellung der OECD oder ihrer Mitgliedstaaten wider. Die in ihnen zum Ausdruck gebrachten Meinungen und Argumente sind die ihrer Autoren.

In den Working Papers beschreiben die Autoren vorläufige Ergebnisse oder laufende Forschungsarbeiten. Sie werden veröffentlicht, um eine Diskussion über einen breiten Fächer von Themen anzuregen, mit denen sich die OECD beschäftigt. Kommentare zu den Working Papers sind willkommen und können an folgende Adresse gesendet werden: els.contact@oecd.org.

Diese Reihe zielt darauf ab, ausgewählte, für den internen Gebrauch der OECD erstellte Studien aus den Bereichen Arbeitsmarkt, Sozialpolitik und Migration einer breiteren Leserschaft zur Kenntnis zu bringen. Bei den Studien handelt es sich gewöhnlich um Gemeinschaftsprojekte, die wichtigsten Autoren werden jedoch namentlich genannt. Sie liegen in der Regel nur in der Originalfassung – Englisch oder Französisch – und einer Zusammenfassung in der jeweils anderen Sprache vor.

Dieses Dokument und die darin enthaltenen Karten berühren weder den völkerrechtlichen Status von Territorien noch die Souveränität über Territorien, den Verlauf internationaler Grenzen und Grenzlinien sowie den Namen von Territorien, Städten und Gebieten.

Originaltitel: *The impact of Artificial Intelligence on the labour market: What do we know so far?*

Übersetzung durch den Deutschen Übersetzungsdienst der OECD.

© OECD 2021

Die OECD gestattet das Kopieren, Herunterladen und Abdrucken von OECD-Inhalten für den eigenen Gebrauch sowie das Einfügen von Auszügen aus OECD-Veröffentlichungen, -Datenbanken und -Multi-Mediaprodukten in eigene Dokumente, Präsentationen, Blogs, Websites und Lehrmaterialien, vorausgesetzt die Quelle und der Urheberrechtsinhaber werden in geeigneter Weise genannt. Sämtliche Anfragen bezüglich Verwendung für öffentliche oder kommerzielle Zwecke bzw. Übersetzungsrechte sind zu richten an: rights@oecd.org.

Dank

Diese Publikation ist ein Beitrag zum OECD-Programm Artificial Intelligence in Work, Innovation, Productivity and Skills (AI-WIPS). Dieses Programm soll aktuelle Daten und Analysen zu den Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz (KI), zu ihrer Verbreitung sowie zu ihren Auswirkungen auf die Arbeitswelt liefern, um die Politikverantwortlichen in diesem sich rasch weiterentwickelnden Bereich auf dem neuesten Stand zu halten. Es soll dazu beitragen, dass die KI-Nutzung in der Arbeitswelt effektiv, für alle von Vorteil und menschenzentriert ist und breite Akzeptanz genießt. Das AI-WIPS-Programm wird vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert und ergänzt die Arbeit des KI-Observatoriums der BMAS-Denkfabrik Digitale Arbeitsgesellschaft. Weitere Informationen finden Sie unter <https://oecd.ai/work-innovation-productivity-skills> und <https://denkfabrik-bmas.de/>.

Besonderer Dank gilt Stijn Broecke für die Leitung des Projekts und Mark Keese für seine Beratung und Unterstützung. In diesen Bericht sind Beiträge der Direktion Beschäftigung, Arbeitskräfte und Sozialfragen (Glenda Quintini, Sandrine Cazes, Angelica Salvi Del Pero, Ann Vourc'h, Anna Milanez, Alexandre Georgieff und Morgan Williams), der Direktion Wissenschaft, Technologie und Innovation (Karine Perset und Luis Aranda) und des OECD-Zentrums für Kompetenzen (Elena Crivellaro) eingeflossen. Dank gebührt auch Diana Gehlhaus vom Centre for Security and Emerging Technology an der Georgetown University für ihre wertvollen Kommentare. Wir danken Katerina Kodlova für ihre Unterstützung bei der Veröffentlichung des Berichts.



Abriss

Die jüngsten Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) haben die Furcht vor weitreichenden Arbeitsplatzverlusten durch KI erneut angefacht. Grund dafür ist, dass immer mehr Tätigkeiten (auch nicht-routinemäßige kognitive Aufgaben) durch KI automatisiert werden können und jeder Wirtschaftssektor davon betroffen sein könnte. Darüber hinaus werden negative Auswirkungen auf das Wohlergehen der Arbeitskräfte und das allgemeine Arbeitsumfeld befürchtet. Dahinter steht der Gedanke, dass KI am Arbeitsplatz bald allgegenwärtig sein könnte und die menschliche Arbeitskraft dadurch an Bedeutung verlieren und verdrängt werden könnte. KI bietet aber auch das Potenzial, menschliche Fähigkeiten zu ergänzen und zu steigern. Die Folge sind höhere Produktivität, größere Nachfrage nach menschlicher Arbeitsleistung und bessere Arbeitsplatzqualität. Aus theoretischer Sicht ist der Effekt der künstlichen Intelligenz auf die Beschäftigungs- und Lohnentwicklung uneindeutig. Er kann stark davon abhängen, um welche Art von KI es sich handelt, wie sie entwickelt und eingesetzt wird, und wie die Marktbedingungen und das Politikumfeld aussehen. Die empirischen Befunde auf Basis der KI-Nutzung der letzten zehn Jahre lassen in Berufen, in denen KI besonders gut eingesetzt werden kann, jedoch keinen generellen Beschäftigungs- und Lohnrückgang erkennen. Obwohl KI einige nicht-routinemäßige kognitive Aufgaben übernehmen kann, ist dies nach wie vor nicht in allen Bereichen möglich und für viele Tätigkeiten sind weiterhin Menschen erforderlich. Der Effekt der künstlichen Intelligenz auf die Arbeitswelt dürfte daher vor allem in einer Neuorganisation der Aufgaben bestehen, aus denen sich die jeweilige berufliche Tätigkeit zusammensetzt. Bestimmte Gruppen von Arbeitskräften sind möglicherweise besser in der Lage, künstliche Intelligenz zu ihrem Vorteil zu nutzen, sie zur Ergänzung ihrer eigenen Arbeitsleistung einzusetzen und ihre negativen Folgen zu vermeiden.

KI dürfte das Arbeitsumfeld vieler Menschen erheblich verändern. Dies betrifft u. a. die Arbeitsinhalte und die Arbeitsgestaltung, die Interaktion der Arbeitskräfte untereinander und mit Maschinen und die Methoden, mit denen Arbeitsleistung und Effizienz gemessen werden. KI kann einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion leisten, indem die Arbeitskräfte von eintönigen oder körperlich anstrengenden Tätigkeiten entlastet werden und stattdessen ihre menschlichen Fähigkeiten stärker einbringen können. Von denselben KI-Anwendungen könnten jedoch auch erhebliche Risiken für das Arbeitsumfeld ausgehen, insbesondere wenn sie unsachgemäß genutzt oder ausschließlich zur Kostensenkung eingesetzt werden.

Abstract

Recent developments in Artificial Intelligence (AI) have stoked new fears about large-scale job loss, stemming from its ability to automate a rapidly expanding set of tasks (including non-routine cognitive tasks), and its potential to affect every sector of the economy. Furthermore, there are concerns about employee well-being and the broader work environment, linked to the idea that AI may soon become pervasive in the workplace and threaten and undermine humans' place in it. However, AI also has the potential to complement and augment human capabilities, leading to higher productivity, greater demand for human labour and improved job quality. From a theoretical perspective, the impact of AI on employment and wages is ambiguous, and it may depend strongly on the type of AI being developed and deployed, how it is developed and deployed, and on market conditions and policy. However, the empirical evidence based on AI adopted in the last 10 years does not support the idea of an overall decline in employment and wages in occupations exposed to AI. While AI is capable of performing some non-routine cognitive tasks, some bottlenecks to adoption still remain, and many tasks still require humans to carry them out. Thus, much of the impact of AI on jobs is likely to be experienced through the reorganisation of tasks within an occupation. Certain groups of workers may be more capable or better positioned to take advantage of the benefits that AI brings, use AI in a way that is complementary to their work, and avoid its negative impacts.

AI is likely to reshape the work environment of many people, by changing the content and design of their jobs, the way workers interact with each other and with machines, and how work effort and efficiency are monitored. AI can play an important role in facilitating human-machine collaboration, helping workers in the execution of tedious or physically demanding tasks while allowing them to leverage their own uniquely human abilities. However, the same AI applications could also entail significant risks for the work environment, especially if applied badly or with the singular motivation to cut costs.

Synthèse

Les récents progrès de l'intelligence artificielle (IA) ont ravivé les craintes de destructions massives d'emplois, craintes dont l'origine tient au fait que cette technologie permet l'automatisation d'un ensemble de tâches qui s'élargit rapidement, et qu'elle est susceptible de trouver des applications dans tous les secteurs de l'économie. En outre, le bien-être des salariés et l'environnement de travail dans son ensemble font aussi l'objet de préoccupations, liées à l'idée que l'IA pourrait devenir bientôt omniprésente dans l'entreprise et fragiliser la place de l'humain en son sein. Pourtant, l'IA est aussi à même de compléter et d'augmenter les capacités humaines et, partant, de susciter des gains de productivité, de soutenir la demande de main-d'œuvre et d'accroître la qualité des emplois.

Du point de vue théorique, les effets de l'IA sur l'emploi et les salaires sont ambivalents et dépendent probablement dans une large mesure de la nature des technologies en question, de la manière dont elles sont développées et déployées, des conditions de marché et des politiques en place. Quoi qu'il en soit, les observations empiriques portant sur l'adoption de telles technologies au cours de ces 10 dernières années n'accréditent pas la thèse d'un recul global de l'emploi et des salaires dans les professions exposées à l'IA. Les systèmes d'IA sont certes capables d'exécuter un certain nombre de tâches cognitives non répétitives, cependant il demeure quelques freins à leur adoption, et de nombreuses tâches exigent encore l'intervention d'opérateurs humains pour être menées à bien. Il s'ensuit que l'essentiel des répercussions de l'IA sur l'emploi se matérialisera sans doute à travers la réorganisation des tâches relevant d'une profession donnée. Certaines catégories de travailleurs pourraient être mieux préparées ou mieux positionnées pour tirer le meilleur parti de l'IA, en utilisant les nouveaux outils qu'elle apporte de façon complémentaire à leur activité professionnelle, évitant ainsi les effets négatifs de cette technologie.

L'IA va vraisemblablement remodeler l'environnement de travail de beaucoup en modifiant la teneur de leur emploi et la manière de le concevoir, leurs interactions avec leurs semblables et avec les machines, et la façon dont l'effort et l'efficacité au travail seront observés. L'IA peut jouer un rôle important en facilitant la collaboration entre humains et machines, en aidant les travailleurs dans l'exécution de tâches fastidieuses ou physiquement éprouvantes, tout en leur permettant d'exploiter au mieux leurs compétences uniques, spécifiques à l'humain. Cela étant, ces mêmes applications de l'IA peuvent aussi faire planer des risques non négligeables sur l'environnement de travail, surtout si elles sont mises en œuvre de manière inappropriée ou à seule fin de réduire les coûts.

Inhaltsverzeichnis

Arbeitsdokumente der OECD zu Sozial-, Beschäftigungs- und Migrationsfragen	1
Dank	2
Abriss	3
Abstract	5
Synthèse	6
Zusammenfassung	10
Executive summary	12
Résumé	14
1 Einführung	16
2 Was kann KI?	18
2.1. KI kann als Universaltechnologie betrachtet werden	18
2.2. KI kann als Automatisierungstechnologie betrachtet werden	20
2.3. In bestimmten Berufen besteht ein stärkeres KI-Potenzial	21
2.4. KI führt nicht nur zu Automatisierung, sondern wird Arbeitskräfte auch ergänzen	24
3 Die Auswirkungen von KI auf Produktivität, Beschäftigung und Löhne	26
3.1. KI wird die Produktivität steigern, die Stärke dieses Effekts ist jedoch umstritten	26
3.2. Die Ergebnisse theoretischer Modelle zum Beschäftigungs- und Lohneffekt von KI sind uneindeutig	29
3.3. Die wenigen vorliegenden empirischen Daten lassen nicht darauf schließen, dass KI Beschäftigung und Löhne reduziert hat	32
3.4. Die Erwartungen der Unternehmen in Bezug auf den Effekt von KI auf die Gesamtarbeitsnachfrage divergieren	33
4 Die Auswirkungen von KI auf das Tätigkeitsspektrum	34
4.1. Der Effekt von KI wird sich vor allem in einer Neuorganisation der Tätigkeiten bemerkbar machen	34
4.2. KI führt auch zur Entstehung neuer Tätigkeiten	36

4.3. Die durch KI verursachten Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt können Umschulungen oder Höherqualifizierungen erforderlich machen	37
4.4. Bestimmten Arbeitskräften wird es besser gelingen, sich an den Wandel anzupassen	39
4.5. Kommt KI vor allem Kapitaleignern und Superstarunternehmen zugute?	40
5 Die Auswirkungen von KI auf das Arbeitsumfeld	42
5.1. Ob die mit der Nutzung von KI einhergehende Arbeitsumorganisation das Arbeitsumfeld verbessert, ist noch offen	43
5.2. KI kann eine enge Zusammenarbeit von Mensch und Roboter fördern	44
5.3. KI kann Personalmanagement und Laufbahnentwicklung unterstützen	46
5.4. KI kann auch Risiken für das Arbeitsumfeld bergen	48
Literaturverzeichnis	51
TABELLEN	
Tabelle 2.1. Berufe mit dem größten und dem geringsten KI-Potenzial	22
Tabelle 3.1. Schätzungen des wirtschaftlichen Potenzials von KI	28
Tabelle 5.1. KI-Anwendungen für Personalmanagement und Laufbahnentwicklung	46

Zusammenfassung

Die jüngsten Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) haben die Furcht vor weitreichenden Arbeitsplatzverlusten durch KI erneut angefacht. Grund dafür ist, dass immer mehr Tätigkeiten (auch nicht-routinemäßige kognitive Aufgaben) durch KI automatisiert werden können und jeder Wirtschaftssektor davon betroffen sein könnte. Darüber hinaus werden negative Auswirkungen auf das Wohlergehen der Arbeitskräfte und das allgemeine Arbeitsumfeld befürchtet. Dahinter steht der Gedanke, dass KI am Arbeitsplatz bald allgegenwärtig sein könnte und die menschliche Arbeitskraft dadurch an Bedeutung verlieren und verdrängt werden könnte. KI bietet aber auch das Potenzial, menschliche Fähigkeiten zu ergänzen und zu steigern. Die Folge sind höhere Produktivität, größere Nachfrage nach menschlicher Arbeitsleistung und bessere Arbeitsplatzqualität.

Aus theoretischer Sicht ist der Effekt der künstlichen Intelligenz auf die Beschäftigungs- und Lohnentwicklung uneindeutig. Er kann stark davon abhängen, um welche Art von KI es sich handelt, wie sie entwickelt und eingesetzt wird, und wie die Marktbedingungen und das Politikumfeld aussehen. Wenn KI die Automatisierung von Aufgaben erleichtert und nur geringfügige Produktivitätssteigerungen bewirkt, ist nicht davon auszugehen, dass auch die Arbeitskräfte von dieser neuen Technologie profitieren. Positive Effekte für die Arbeitskräfte ergeben sich dann, wenn durch KI neue hochproduktive Tätigkeiten als Ersatz für die automatisierten Aufgaben entstehen und die Produktivitätssteigerungen so hoch sind, dass die Verbrauchernachfrage wächst und dadurch die Nachfrage nach menschlicher Arbeitsleistung angekurbelt wird.

Die empirischen Befunde auf Basis der KI-Nutzung der letzten zehn Jahre lassen keinen generellen Beschäftigungs- und Lohnrückgang in Berufen erkennen, in denen KI besonders gut eingesetzt werden kann. Einige Studien zeigen einen positiven Effekt der KI-Nutzung auf das Lohnwachstum.

Zu den Berufen, in denen das KI-Potenzial als besonders groß eingeschätzt wird, zählen hochqualifizierte Tätigkeiten mit nicht-routinemäßigen kognitiven Aufgaben, wie z. B. die von Laborant*innen, Ingenieur*innen und Versicherungsmathematiker*innen. Ein hohes KI-Potenzial bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass in diesen Berufszweigen Arbeitsplätze wegfallen. Obwohl die Fähigkeiten der künstlichen Intelligenz erheblich zugenommen haben, kann KI nach wie vor nicht in allen Bereichen genutzt werden und für viele Tätigkeiten sind weiterhin Menschen erforderlich. Der Effekt der künstlichen Intelligenz auf die Arbeitswelt dürfte daher vor allem in einer Neuorganisation der Aufgaben bestehen, aus denen sich die jeweilige berufliche Tätigkeit zusammensetzt. In einigen Berufen wird KI die Tätigkeit der Arbeitskräfte eher ergänzen, anstatt sie zu ersetzen.

Die Arbeitskräfte benötigen möglicherweise Umschulungen oder Höherqualifizierungen, damit sie auf die umstrukturierten bzw. neu entstehenden Aufgaben vorbereitet sind und einen potenziellen Arbeitsplatzverlust und Jobwechsel bewältigen können. Sie müssen dazu nicht nur KI-bezogene Kompetenzen erwerben, sondern auch Kompetenzen in Bereichen, die weniger KI-gesegnet sind. Dazu zählen beispielsweise kreative und soziale Intelligenz, logisches Denken und der Umgang mit Unsicherheit. Wie reibungslos die KI-Einführung funktioniert und wie groß ihr Effekt auf die Arbeitskräfte ist, hängt auch davon ab, wie stark sich die einzelnen Unternehmen bemühen, ihre Beschäftigten zu halten und umzuschulen, und welche institutionellen Rahmenbedingungen in dem betreffenden Land herrschen. Dies betrifft beispielsweise Aspekte wie die allgemeine Infrastruktur im Bereich der Weiterbildung und Arbeitsvermittlung, direkte staatliche Förderung, Steueranreize und die sozialen Sicherungssysteme.

Bestimmte Gruppen von Arbeitskräften sind möglicherweise besser in der Lage, künstliche Intelligenz zu ihrem Vorteil zu nutzen, sie zur Ergänzung ihrer eigenen Arbeitsleistung einzusetzen und ihre negativen Folgen zu vermeiden. So zählen zwar einige hochqualifizierte Tätigkeiten zu den Berufen mit dem höchsten KI-Potenzial, es gibt aber Anzeichen dafür, dass KI bei Arbeitskräften in besser bezahlten Berufen

und/oder mit höherem Bildungsabschluss zu einem höheren Lohnwachstum führt. Dies lässt auf eine gewisse Komplementarität schließen. Es deutet jedoch auch darauf hin, dass KI-Nutzung die Einkommensungleichheit verstärken könnte.

Einige Unternehmen dürften ebenfalls besser als andere in der Lage sein, KI zu entwickeln und/oder einzuführen. Wenn die Vorteile von KI nur einigen führenden Innovatoren oder Unternehmen mit übermäßiger Marktmacht zugutekommen, könnte dies einen Keil zwischen Innovatoren und Arbeitskräfte treiben und den potenziell negativen Effekt von KI auf die Ungleichheit weiter verstärken.

KI dürfte das Arbeitsumfeld vieler Menschen erheblich verändern. Dies betrifft u. a. die Arbeitsinhalte und die Arbeitsgestaltung, die Interaktion der Arbeitskräfte untereinander und mit Maschinen und die Methoden, mit denen Arbeitsleistung und Effizienz gemessen werden. KI kann einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion leisten, indem die Arbeitskräfte von eintönigen oder körperlich anstrengenden Tätigkeiten entlastet werden und stattdessen ihre menschlichen Fähigkeiten stärker einbringen können. KI kann auch für kostengünstigere, schnellere und besser skalierbare Lösungen im Personalmanagement eingesetzt werden. Dabei handelt es sich beispielsweise um Anwendungen, die den Beschäftigten in ihrer beruflichen Entwicklung helfen, Führungskräfte bei ihren Aufgaben unterstützen und die Schulungsmöglichkeiten verbessern.

Von denselben KI-Anwendungen könnten jedoch auch erhebliche Risiken für das Arbeitsumfeld ausgehen, insbesondere wenn sie unsachgemäß genutzt oder ausschließlich zur Kostensenkung eingesetzt werden. Mangelnde Transparenz und Nachvollziehbarkeit algorithmischer Vorhersagen und Entscheidungen kann bei den Beschäftigten zu einem Gefühl psychischer oder physischer Unsicherheit führen. Die umfassende Leistungskontrolle, die durch KI ermöglicht wird, kann den Arbeits- und Produktivitätsdruck erhöhen und bei den Beschäftigten verstärkten Stress auslösen, weil sie nicht wissen, wie ihre Vorgesetzten die Daten interpretieren.

Viele Fragen werden in künftigen Forschungsarbeiten noch zu klären sein. Erhebungen und qualitative Untersuchungen könnten Aufschluss darüber geben, wie Unternehmen und Arbeitskräfte die Einführung von KI beurteilen, wie und unter welchen Managementmodellen und nationalen politischen und institutionellen Rahmenbedingungen Entscheidungen getroffen werden und welche Maßnahmen positive Effekte bewirken. Von besonderem Interesse ist es dabei, Erkenntnisse aus unterschiedlichen Bereichen zu erlangen. Beispielsweise könnte untersucht werden, wie KI die Mensch-Maschine-Interaktion in Fertigungsumgebungen verbessert, wie KI hochqualifizierte Arbeitskräfte bei Prognoseaufgaben unterstützt oder wie KI in Tools für die Karriereentwicklung genutzt wird.

Weitere empirische Analysen werden sich damit auseinandersetzen, inwiefern der Effekt der künstlichen Intelligenz mit dem Effekt früherer Automatisierungswellen vergleichbar ist. Dabei geht es sowohl um ihr Potenzial, die menschliche Arbeitsleistung zu ersetzen und/oder zu ergänzen und neue Aufgaben zu schaffen, als auch um die Auswirkungen auf die Arbeitsnachfrage und die Einkommensungleichheit. Für diese Analysen müssen Daten erhoben und Indikatoren entwickelt werden, mit denen KI und ihre ganz spezifischen Eigenschaften erfasst werden (neben einer allgemeineren Betrachtung von Automatisierungstechnologien).

Executive summary

Recent developments in Artificial Intelligence (AI) have stoked new fears about large-scale job loss, stemming from its ability to automate a rapidly expanding set of tasks (including non-routine cognitive tasks), and its potential to affect every sector of the economy. Furthermore, there are concerns about employee well-being and the broader work environment, linked to the idea that AI may soon become pervasive in the workplace and threaten and undermine humans' place in it. However, AI also has the potential to complement and augment human capabilities, leading to higher productivity, greater demand for human labour and improved job quality.

From a theoretical perspective, the impact of AI on employment and wages is ambiguous, and it may depend strongly on the type of AI being developed and deployed, how it is developed and deployed, and on market conditions and policy. If AI facilitates the automation of tasks and delivers only modest increases in productivity, workers are unlikely to share in the benefits of this new technology. To produce positive outcomes for workers, AI must create new high-productivity tasks to replace those automated and boost productivity sufficiently to raise consumer demand, hence increasing demand for human labour.

The empirical evidence based on AI adopted in the last 10 years does not support the idea of an overall decline in employment and wages in occupations exposed to AI. Some studies suggest a positive impact of AI on wage growth.

The occupations judged to be most exposed to AI include high-skilled occupations involving non-routine cognitive tasks, such as lab technicians, engineers and actuaries. However, high exposure does not necessarily mean that jobs in these occupations will disappear. While AI's capabilities have expanded substantially, some bottlenecks to adoption still remain, and many tasks still require humans to carry them out. Thus, much of the impact of AI on jobs is likely to be experienced through the reorganisation of tasks within an occupation, with some workers ultimately complemented in their work by AI, rather than substituted by it.

Workers may need to re-skill or up-skill in order to adapt to the reorganisation of tasks and the emergence of new tasks, and to weather potential job loss and navigate transitions to new jobs. This will not only mean acquiring AI-related skills, but also acquiring skills in areas that AI cannot perform so well, such as creative and social intelligence, reasoning skills, and dealing with uncertainty. The smoothness of the AI transition and the extent of the impact on workers will also depend on firm-level incentives to retain and retrain staff and on institutional factors, such as the general infrastructure for training and job-search available in the country, direct government funding, tax incentives and social benefit systems.

Certain groups of workers may be more capable or better positioned to take advantage of the benefits that AI brings, use AI in a way that is complementary to their work, and avoid its negative impacts. While some high-skilled occupations are among those most exposed to AI, there is evidence that individuals in higher wage occupations and/or with higher educational attainment experience higher wage growth linked to AI, suggesting some degree of complementarity. This suggests that AI adoption could increase income inequality.

Similarly, some firms may be better placed than others to develop and/or deploy AI. Moreover, if the gains of AI accrue to a small number of superstar innovators or firms with excessive market power, this could produce a divide between innovators and workers and further reinforce the potentially negative impact of AI on inequality.

AI is likely to reshape the work environment of many people, by changing the content and design of their jobs, the way workers interact with each other and with machines, and how work effort and efficiency are monitored. AI can play an important role in facilitating human-machine collaboration, helping workers in the execution of tedious or physically demanding tasks while allowing them to leverage their own uniquely human abilities. AI can offer cheaper, faster and more scalable solutions in the field of human resource management, enabling workers to advance their own careers, helping managers to manage, and enhancing training.

However, the same AI applications could also entail significant risks for the work environment, especially if applied badly or with the singular motivation to cut costs. A lack of transparency and explainability around algorithmic predictions and decisions can make employees feel insecure, either psychologically or physically. By enabling extensive monitoring of workers' performance, AI can increase work pressure and generate stress about productivity and about how managers may interpret data.

Many questions remain for future research. Surveys and qualitative research may be useful for understanding how firms and workers view the AI transition, how decisions are made and under what management models and what national policy and institutions, and what measures lead to positive outcomes. Of particular interest is capturing evidence from different environments, including for instance the use of AI in facilitating close human-machine collaboration in manufacturing environments, the role of AI assisting the highly skilled in prediction tasks, and the use of AI-enabled career development tools.

Further empirical analysis will help establish to what extent the impact of AI resembles the impact of previous waves of automation, in terms of its potential to substitute and/or complement human labour and to create new tasks, and the implications for labour demand and income inequality. This will rely on data collection and the creation of indicators that capture AI and its inherent attributes (in addition to considering automation technologies more generally).

Résumé

Les récents progrès de l'intelligence artificielle (IA) ont ravivé les craintes de destructions massives d'emplois, craintes dont l'origine tient au fait que cette technologie permet l'automatisation d'un ensemble de tâches qui s'élargit rapidement (et s'étend notamment à des tâches cognitives non répétitives), et qu'elle est susceptible de trouver des applications dans tous les secteurs de l'économie. En outre, le bien-être des salariés et l'environnement de travail dans son ensemble sont aussi l'objet de préoccupations à l'idée qu'elle pourrait devenir bientôt omniprésente dans l'entreprise et y menacer et compromettre la place des intervenants humains. Pourtant, l'IA est aussi à même de compléter et d'augmenter les capacités humaines et, partant, de susciter des gains de productivité, de soutenir la demande de main-d'œuvre et d'accroître la qualité des emplois.

Du point de vue théorique, ses effets sur l'emploi et les salaires sont ambivalents et dépendent probablement dans une large mesure de la nature de ses applications, de la manière dont elles sont mises au point et déployées, de la situation du marché et du cadre réglementaire en place. Si cette nouvelle technologie facilite l'automatisation des tâches et n'apporte que des gains modestes sur le plan de la productivité, alors les travailleurs ont peu chances d'en recevoir eux aussi les bienfaits. Pour leur être bénéfique, l'IA doit faire émerger de nouvelles tâches fortement productives, en remplacement de celles qui auront été automatisées, et doper la productivité dans une mesure suffisante pour tirer la demande des consommateurs, et par là même la demande de main-d'œuvre.

Les données concrètes recueillies au sujet des systèmes adoptés au cours de ces 10 dernières années n'accréditent pas la thèse d'un recul global de l'emploi et des salaires dans les professions exposées à l'IA. Il semblerait, d'après certaines études, que celle-ci ait une influence positive sur la croissance des salaires.

On trouve, parmi les professions considérées comme les plus exposées à l'IA, des professions très qualifiées impliquant l'exécution de tâches cognitives non répétitives, ainsi celles de technicien de laboratoire, d'ingénieur et d'actuaire. Cela étant, forte exposition ne rime pas nécessairement avec destruction d'emplois. En dépit des progrès substantiels de l'IA, il demeure quelques freins à son adoption, et de nombreuses tâches exigent encore l'intervention d'opérateurs humains pour être menées à bien. Il s'ensuit que l'essentiel des répercussions de l'IA sur l'emploi se matérialisera sans doute à travers la réorganisation des tâches relevant d'une profession donnée, de sorte qu'*in fine*, cette technologie viendra compléter l'activité de certains travailleurs et non pas se substituer à eux.

Les travailleurs auront sans doute besoin de recycler ou de développer leurs compétences pour s'adapter à cette réorganisation et à l'apparition de tâches nouvelles, ainsi que pour surmonter une éventuelle perte d'emploi et se reconvertir dans l'exercice d'une activité nouvelle. Cela supposera d'acquérir des compétences non seulement dans le domaine de l'IA, mais aussi dans des domaines où celle-ci n'est pas en mesure de rivaliser avec l'humain, tels ceux de la créativité et de l'intelligence sociale, du raisonnement et de la gestion de l'incertitude. La souplesse de la transition vers l'IA et l'ampleur de ses conséquences pour les travailleurs dépendront aussi des incitations faites aux entreprises pour qu'elles conservent et reconvertissent leur personnel et de différents facteurs institutionnels, comme l'infrastructure générale de

formation et de recherche d'emploi en place dans le pays, les financements publics directs, les incitations fiscales et les systèmes de prestations sociales.

Certaines catégories de travailleurs seront peut-être mieux à même, en raison de leurs capacités ou de leur situation, de tirer parti des avantages apportés par l'IA, de se servir des systèmes d'IA comme d'un auxiliaire dans leur activité professionnelle et de s'affranchir des effets négatifs de cette technologie. En dépit du fait que quelques professions très qualifiées comptent parmi les plus menacées, il apparaît que c'est à ceux qui occupent un emploi relativement bien rémunéré et/ou ont un niveau d'études élevé que l'IA procure la plus forte progression salariale, ce qui laisse supposer une certaine complémentarité. Il est dès lors permis de penser que la diffusion des applications de l'IA pourrait contribuer au creusement des inégalités de revenu.

De même, certaines entreprises seront probablement mieux à même que d'autres de mettre au point et/ou déployer des systèmes d'IA. En outre, si l'IA profite exclusivement à un petit nombre d'innovateurs « superstars » ou d'entreprises disposant d'une position de force excessive sur le marché, un fossé pourrait se creuser entre ceux qui innovent et ceux qui travaillent, et les possibles conséquences négatives sur les inégalités s'aggraver.

L'IA va vraisemblablement remodeler l'environnement de travail de beaucoup en modifiant la teneur de leur emploi et la manière de le concevoir, leurs interactions avec leurs semblables et avec les machines, et la mesure de l'effort de travail et de l'efficacité professionnelle. L'IA peut faciliter grandement la collaboration entre l'homme et la machine, de même que l'exécution de tâches fastidieuses ou physiquement difficiles, et permettre dans le même temps aux travailleurs d'exploiter les aptitudes spécifiquement humaines dont ils sont dotés. Elle peut aussi apporter, dans le domaine des ressources humaines, des solutions moins onéreuses, plus rapides et plus facilement reproductibles à grande échelle, permettant aux travailleurs de gérer leur évolution professionnelle, aidant les responsables à remplir leur rôle et favorisant la formation.

Cela étant, ces mêmes applications de l'IA peuvent aussi faire planer des risques non négligeables sur l'environnement de travail, surtout si elles sont mises en œuvre de manière inappropriée ou à seule fin de réduire les coûts. Le manque de transparence et d'explicabilité des prédictions et décisions algorithmiques peut susciter chez les salariés un sentiment d'insécurité, aussi bien psychologique que physique. Du fait qu'elle permet un suivi complet de la performance des travailleurs, l'IA est susceptible d'accentuer les pressions professionnelles et d'être cause d'anxiété au sujet de la productivité et de l'interprétation que les dirigeants pourront faire des données à leur disposition.

De nombreuses questions demeurent, auxquelles la recherche devra apporter une réponse. Des enquêtes et des études qualitatives pourraient aider à comprendre comment les entreprises et les travailleurs envisagent la transition vers l'IA, comment les décisions sont prises, en vertu de quels modèles de gestion, dans quel cadre réglementaire et sous l'égide de quelles institutions nationales, et quelles mesures donnent des résultats positifs. Il serait particulièrement intéressant de réunir des éléments factuels issus de différents environnements, par exemple sur l'utilisation de l'IA au service d'une collaboration plus étroite entre l'homme et la machine dans les activités manufacturières, sur l'aide apportée aux travailleurs hautement qualifiés pour l'établissement de prévisions, et sur l'utilisation d'outils de développement professionnel fondés sur cette technologie.

De nouvelles analyses empiriques aideront à voir dans quelle mesure le déploiement de l'IA s'apparente, dans ses répercussions, à celui de vagues antérieures d'automatisation, du point de vue de sa capacité de se substituer au travail humain et/ou de le compléter et de susciter des tâches nouvelles et de ses conséquences sur la demande de main-d'œuvre et les inégalités de revenu. Ces analyses prendront appui sur la collecte de données et la construction d'indicateurs sur l'IA et ses caractéristiques propres (en plus de la prise en compte des technologies qui, de manière plus générale, rendent possible l'automatisation).

1 Einführung

1. Künstliche Intelligenz (KI) verändert das Gesicht von Wirtschaft und Gesellschaft. Sie macht neue Produkte und Dienstleistungen möglich und verspricht Produktivitätsfortschritte durch Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen. Zugleich wirft KI aber auch Fragen auf und weckt Ängste in Bezug auf ihre Auswirkungen auf Arbeitsmarkt und Gesellschaft. Zweck dieser Literatursichtung ist es daher, eine Bestandsaufnahme dessen vorzunehmen, was über die Auswirkungen von KI auf den Arbeitsmarkt bereits bekannt ist, Lücken in der Evidenzbasis aufzuzeigen und die Forschungsarbeiten zu unterstützen, die im Rahmen des vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) finanzierten dreijährigen AI-WIPS-Programms der OECD durchgeführt werden.

2. Dieses Programm, das im Januar 2020 startete, wird neue wertvolle Ressourcen und Erkenntnisse liefern, insbesondere eingehende Analysen, Messungen, Möglichkeiten für den internationalen Dialog und konkrete politische Bewertungen zu den Auswirkungen von KI auf Arbeitsmarkt und Gesellschaft. Es baut auf früheren Arbeiten der OECD zum Thema KI auf, darunter die OECD-Grundsätze für künstliche Intelligenz. Ziel dieser Arbeiten ist eine KI, die innovativ und vertrauenswürdig ist und die Menschenrechte und die demokratischen Werte achtet. Die OECD-Grundsätze für KI fordern die Regierungen auf, die Kompetenzen der Menschen zu stärken und sie auf den Arbeitsmarktwandel vorzubereiten, insbesondere durch folgende Maßnahmen:

- Arbeitskräfte – u. a. durch Vermittlung der erforderlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten – befähigen, KI-Systeme effektiv zu nutzen und mit ihnen zu interagieren
- die mit der Einführung von KI einhergehenden Umstellungen fair gestalten, u. a. durch sozialen Dialog, Fort- und Weiterbildung, Unterstützung für entlassene Arbeitskräfte und Eröffnung neuer Arbeitsmarktchancen, und
- einen verantwortungsvollen Einsatz von KI in der Arbeitswelt fördern, um die Sicherheit der Beschäftigten und die Beschäftigungsqualität zu erhöhen, unternehmerische Initiative sowie Produktivität zu stärken und eine faire und breite Teilhabe an den Vorteilen von KI zu gewährleisten

3. In dieser Literatursichtung wird aufgezeigt, was über die Auswirkungen von KI auf den Arbeitsmarkt bekannt ist. Dabei geht es insbesondere um die Auswirkungen auf Beschäftigung und Löhne, auf Tätigkeitsprofile und Kompetenzanforderungen sowie auf das Arbeitsumfeld. Die wichtigen ethischen Fragen, die die Nutzung von KI in der Arbeitswelt aufwirft, werden in dieser Literatursichtung nicht angesprochen. Sie sind Gegenstand eines demnächst erscheinenden Themenpapiers mit dem Titel „Ethical issues arising from AI implementation at the workplace and associated policy challenges“ (OECD, 2021^[1]).

4. Bei der Festlegung des Umfangs dieser Studie stellten sich zwei Herausforderungen. Die erste ergab sich daraus, dass es keine allgemein anerkannte Definition von KI gibt. Diese Literatursichtung soll zwar ein möglichst breites Bild zeichnen, konzentriert sich dabei aber auf die Definition der OECD-Sachverständigengruppe für KI (AIGO) (OECD, 2019^[2]):

Ein KI-System ist ein maschinenbasiertes System, das für bestimmte von Menschen definierte Ziele Vorschläge machen, Empfehlungen abgeben oder Entscheidungen treffen kann, um eine reale oder virtuelle Umgebung zu beeinflussen. Es nutzt maschinelle und/oder menschliche Inputs, um ein reales und/oder virtuelles Umfeld zu erfassen, davon ausgehend (automatisch, z. B. mithilfe von maschinellem Lernen (ML), oder manuell) Modelle zu erstellen und mittels Modellinferenz Informations- oder Handlungsoptionen zu ermitteln. KI-Systeme können mit einem unterschiedlichen Grad an Autonomie ausgestattet sein.

5. Die zweite Herausforderung bestand darin, dass KI nicht im luftleeren Raum entwickelt und genutzt wird, sondern im Kontext anderer technologischer Entwicklungen (wie der Automatisierung der Fertigung und der Robotik), die in der Literatur häufig mit KI vermischt werden. Diese Publikation konzentriert sich soweit möglich auf KI und ihre Merkmale. Automatisierung wird dabei als mögliche Folge und Robotik als mögliche Ergänzung zu KI behandelt.
6. Aus diesem Grund beginnt Kapitel 2 mit einer Untersuchung der Fähigkeiten von KI und ihrer möglichen Bedeutung für den Arbeitsmarkt. Es beschäftigt sich mit der Frage, was KI von früheren technologischen Entwicklungen unterscheidet, wobei den spezifischen Merkmalen von KI und den damit verbundenen Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt besonderes Augenmerk gilt.
7. Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Literatur zu den Auswirkungen von KI auf Produktivität, Beschäftigung und Löhne. Viele Menschen betrachten diese Auswirkungen mit Sorge, da sie befürchten, dass KI die Nachfrage nach menschlicher Arbeitskraft und die Löhne senken oder menschliche Arbeit sogar ganz überflüssig machen wird.
8. Kapitel 4 beschäftigt sich eingehender mit den tiefgreifenden Veränderungen, die mit der Nutzung von KI einhergehen könnten, von ihren möglichen Auswirkungen auf die Arbeitsabläufe und das Tätigkeitsprofil der Berufe bis hin zur Entstehung neuer Tätigkeiten und Berufe. Außerdem geht es um die Möglichkeiten verschiedener Arbeitskräftegruppen, sich an die Nutzung von KI und sonstige Faktoren anzupassen, die die Ungleichheiten verschärfen könnten.
9. In Kapitel 5 wird untersucht, wie KI das Arbeitsumfeld verändern kann. Dies betrifft u. a. die Arbeitsinhalte und die Arbeitsgestaltung, die Interaktion der Arbeitskräfte untereinander und mit Maschinen und die Methoden, mit denen Arbeitsleistung und Effizienz gemessen werden.

2 Was kann KI?

10. Dieses Kapitel befasst sich mit den Fähigkeiten von KI und deren Relevanz für den Arbeitsmarkt. Es beginnt mit einer Beschreibung der in wissenschaftlichen Studien häufig hervorgehobenen Merkmale von KI. Dabei geht es speziell um die Merkmale, die die Forschung davon überzeugt haben, dass die Auswirkungen von KI auf den Arbeitsmarkt – in Abgrenzung zu den Auswirkungen von Technologien oder Automatisierung im Allgemeinen – besondere Betrachtung verdienen. Zu diesen Merkmalen gehört, dass sich KI auf eine Vielzahl von Branchen und Berufen in der gesamten Wirtschaft auswirken kann und dass sie sich eigenständig verbessern und das Spektrum der automatisierbaren Tätigkeiten (einschließlich hochqualifizierter Tätigkeiten) erweitern kann. Dadurch könnten ihre Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt, seien sie nun positiv oder negativ, noch vergrößert werden.

11. KI hat einige Grenzen früherer Technologien überschritten. Da KI in der Lage ist, Probleme zu lösen, logische Schlussfolgerungen zu ziehen und die Umwelt wahrzunehmen, können heute auch einige nicht-routinemäßige kognitive Aufgaben automatisiert werden. Das erklärt, weshalb in einigen hochqualifizierten Berufen wie Radiolog*in, Laborant*in, Ingenieur*in, Rechtsanwalt*anwältin und Versicherungsmathematiker*in ein besonders starkes Automatisierungspotenzial durch KI besteht: Ein Teil der in diesen Berufen ausgeübten Tätigkeiten und Aufgaben kann von KI wahrgenommen werden. Ein hohes KI-Potenzial bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass in diesen Berufszweigen Arbeitsplätze wegfallen werden.

12. In einigen Bereichen sind der Entwicklung von KI immer noch Grenzen gesetzt: In Bezug auf kreative und soziale Intelligenz, schlussfolgerndes Denken und Umgang mit Unsicherheit ist der Mensch der künstlichen Intelligenz überlegen. Selbst wenn KI die Automatisierung bestimmter Tätigkeiten erleichtert, gibt es immer noch andere Aufgaben, die nur Menschen wahrnehmen können. In solchen Fällen kann KI die menschliche Arbeitskraft ergänzen und ihre Produktivität steigern. In den Berufen mit dem stärksten KI-Potenzial könnte ein Teil der Tätigkeiten also durch KI ergänzt oder ersetzt werden. Dadurch könnte sich der Tätigkeitsbereich der Arbeitskräfte erheblich verändern.

2.1. KI kann als Universaltechnologie betrachtet werden

13. Die OECD (2020^[3]) beschreibt KI als eine Universaltechnologie. Dieses Konzept wurde von Bresnahan und Trajtenberg (1992^[4]) für Technologien entwickelt, die das Potenzial haben, in einem breiten Fächer von Sektoren und Berufen eingesetzt zu werden, und die Fähigkeit besitzen, sich im Zeitverlauf zu verbessern und komplementäre Innovationen zu generieren. Andere Beispiele sind die Informatik, die Elektrifizierung und die Dampfmaschine. Agrawal et al. (2019^[5]) zufolge gehört KI zu den Universaltechnologien, weil sie in der Lage ist, Vorhersagen zu treffen, die in verschiedenen Berufen wie Lehre, Radiologie und Übersetzungswesen in Entscheidungsprozessen eingesetzt werden können. Brynjolfsson et al. (2017^[6]) weisen darauf hin, dass Systeme des maschinellen Lernens speziell darauf ausgerichtet sind, sich eigenständig zu verbessern. Sie führen Beispiele auf, wie maschinelles Lernen Maschinen in die Lage versetzt, ihre Umwelt wahrzunehmen, was zu einer Vielzahl von Innovationen führt. Cockburn et al. (2018^[7]) bezeichnen maschinelles Lernen als die „Erfindung einer Erfindungsmethode“ – ein Konzept, das von Griliches (1957^[8]) eingeführt wurde. Sie beschreiben, wie maschinelles Lernen und neuronale Netze in vielen Wirtschaftszweigen nicht nur Produktivitätssteigerungen ermöglichen, sondern auch Transformations- und Innovationsprozesse anstoßen. Außerdem kann KI zu wissenschaftlichen

Entdeckungen beitragen, insbesondere wenn Forschung Klassifizierungs- und Vorhersagetätigkeiten voraussetzt. Kasten 2.1 enthält eine kurze Zusammenfassung der jüngsten Trends im Bereich der KI und ihrer Anwendung am Arbeitsplatz.

14. Die wirtschaftliche Bedeutung der Einstufung als Universaltechnologie besteht darin, dass die Herausforderungen und Chancen, die KI für den Arbeitsmarkt mit sich bringt, vertieft und erweitert werden. Da KI in verschiedenen Sektoren und Berufen angewendet werden kann, birgt sie ein viel größeres Potenzial für Produktionssteigerungen und Wohlfahrtsgewinne (Brynjolfsson, E., D. Rock und C. Syverson, 2017^[6]). Die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt, seien sie nun positiv oder negativ, werden dadurch ebenfalls vergrößert. Da die Automatisierung in einigen Branchen bereits zu Arbeitsplatzverlusten geführt hat, besteht die Sorge, dass dies durch KI in noch viel mehr Branchen geschehen könnte. Andererseits könnte KI durch die Fähigkeit, weitere Innovationen herbeizuführen, auch vollkommen neue Branchen mit einer Vielzahl neuer Arbeitsplätze entstehen lassen (wie in Abschnitt 4.2 erörtert). KI verändert „den Prozess, durch den wir neue Ideen und Technologien entwickeln, indem sie komplexe Probleme lösen hilft und Kreativität skaliert“ (Aghion et al., 2017^[9]).

Kasten 2.1. Jüngste Trends bei KI und ihrer Anwendung in der Arbeitswelt

Der Begriff künstliche Intelligenz geht auf das Jahr 1956 zurück. Ihre Entwicklung durchlief verschiedene Phasen, von der sogenannten symbolischen KI und ihren dem menschlichen Denken nachempfundenen, logikbasierten Systemen über den „KI-Winter“ der 1970er Jahre bis zur Entwicklung des Schachcomputers Deep Blue in den 1990er Jahren. Durch Big Data, Cloud-Computing, die damit verbundene Rechen- sowie Speicherkapazität und die bahnbrechenden Fortschritte im Bereich des maschinellen Lernens (ML) haben sich die Leistung, Verfügbarkeit, Expansion und Wirkung von KI drastisch erhöht. Dank des stetigen technischen Fortschritts können zudem bessere und günstigere Sensoren entwickelt werden, die zuverlässigere Daten für KI-Systeme liefern. Der OECD-Bericht *Künstliche Intelligenz in der Gesellschaft* beschreibt diese Entwicklungen eingehender (OECD, 2020^[3]).

Maschinelles Lernen steht für eine Reihe von Techniken, bei denen Maschinen ohne explizite Programmierung anhand von Mustern und aus Daten gezogenen Inferenzen selbstständig lernen. Zahlreiche ML-Ansätze beruhen darauf, dass Maschinen anhand einer Vielzahl von Beispielen darauf trainiert werden, ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen. Bei anderen Ansätzen werden Regeln vorgegeben und die Maschine lernt durch Versuch und Irrtum. Der derzeitigen Welle von ML-Anwendungen liegt die Technologie der „neuronalen Netze“ zugrunde, ein komplexes statistisches Modellierungsverfahren. Dabei werden Tausende bzw. Millionen einfacher Transformationen immer wieder miteinander verknüpft, bis ein umfangreiches statistisches Modell entsteht, das komplexe Zusammenhänge zwischen In- und Outputdaten erfassen kann.

Außer bei einigen großen und etablierten Akteuren im Technologiesektor befindet sich die Anwendung von KI in der Wirtschaft noch in einem frühen Stadium. Eine in den Vereinigten Staaten durchgeführte national repräsentative Unternehmensumfrage (Beede et al., 2020^[10]) zeigt, dass die Adoptionsrate von KI-Technologien wie maschinelles Lernen, maschinelles Sehen, Verarbeitung natürlicher Sprache und fahrerlose Transportfahrzeuge niedrig ist. Zu den bei der Anwendung von KI führenden Branchen gehören Hochtechnologie, Automobilindustrie, Telekommunikation, Verkehr und Logistik, Finanzdienstleistungen und Verbrauchsgüter, Einzelhandel und Gesundheitsversorgung (laut Umfragen von Bessen et al. (2018^[11]) sowie McKinsey (2019^[12])). Diese Studien zeigen auch, dass KI häufig in andere Technologien eingebettet ist. Dazu gehören Systeme zur Analyse natürlicher Sprache (*natural language understanding* – NLU), zur Textanalyse, Textklassifikation und für das Entscheidungsmanagement, für visuelle Erkennung (einschließlich Bild-, Gesichts- und Videoerkennung) sowie virtuelle Agenten oder Konversationsschnittstellen („Chatbots“) sowie robotergesteuerte Prozessautomatisierung.

2.2. KI kann als Automatisierungstechnologie betrachtet werden

15. Viele Ökonom*innen betrachten KI auch als eine Automatisierungstechnologie, d. h. als eine Technologie, die darauf abzielt, Tätigkeiten zu automatisieren, die normalerweise von Menschen ausgeführt werden. In bestimmten Berufen kann dies zu einem Rückgang der Arbeitsnachfrage und der Löhne führen (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2018^[13]; Aghion et al., 2017^[9]). KI unterscheidet sich von anderen Automatisierungstechnologien wie Industrierobotern und anderen automatisierten Maschinen dahingehend, dass sie die Bandbreite der automatisierbaren Tätigkeiten stärker ausweitet. Das gilt besonders für eine Technologie wie das maschinelle Lernen, die speziell darauf ausgerichtet ist, sich eigenständig zu verbessern. Teilweise wird die Ansicht geäußert, dass diese Fähigkeit zur Selbstverbesserung zu der in Kasten 2.2 erörterten *Singularität* führen könnte. Dadurch könnte letztlich der Platz des Menschen auf dem Arbeitsmarkt und in der Gesellschaft gefährdet sein, wenngleich diese Vorhersage durch schwache Produktivitätszahlen infrage gestellt wird.

Kasten 2.2. Künstliche Intelligenz und die Frage der Singularität

Einige sind der Auffassung, dass die Fähigkeit von KI, sich eigenständig zu verbessern, zu *Singularität* führen könnte. Darunter versteht man den Zeitpunkt, ab dem die maschinelle Intelligenz die menschliche Intelligenz übersteigt (Bostrom, 2006^[14]; Good, 1966^[15]). Damit würde sich das Wirtschaftswachstum in einem kaskadenartigen Prozess immer weiter beschleunigen, je mehr Wirtschaftsbereiche von diesem Verbesserungsprozess erfasst werden (Nordhaus, 2015^[16]), was den Platz des Menschen auf dem Arbeitsmarkt bedrohen würde. Andere sind skeptischer. Luc Julia, einer der Entwickler des Sprachassistenten Siri, ist beispielsweise der Ansicht, dass die Fortschritte im Bereich der KI immer von menschlichem Wissen und menschlichen Entscheidungsprozessen abhängig sein werden (Julia, 2019^[17]).

Nordhaus (2015^[16]) weist darauf hin, dass die meisten Anhänger*innen der Singularitätstheorie Informatiker*innen sind. Allerdings gäbe es auch in der Wirtschaftswissenschaft einige Stimmen (Brynjolfsson, E. und A. McAfee, 2014^[18]), die eine „abgeschwächte Version“ dieser Theorie vertreten. Nordhaus überprüft mehrere Hypothesen, die darauf hindeuten würden, dass sich das technologieinduzierte Wachstum beschleunigt, findet aber keine ausreichenden Belege für eine derartige Beschleunigung. Es ist beispielsweise kein schneller Anstieg des Kapitalkoeffizienten, kein beschleunigter Rückgang der Kapitalkosten und keine Zunahme des Produktivitätswachstums festzustellen (wie in Abschnitt 3.1 erörtert). Nordhaus kommt deshalb zu dem Schluss, dass die Singularität frühestens in 100 Jahren erreicht wird. Diese Schlussfolgerung entspricht in etwa den Ergebnissen einer Umfrage bei ML-Forscher*innen. Darin wird die Wahrscheinlichkeit, dass KI in 45 Jahren die menschliche Leistung in allen Tätigkeitsbereichen übersteigt und in 122 Jahren alle Arbeitsplätze automatisiert, auf 50 % geschätzt (Grace et al., 2018^[19]).

16. Es gibt bereits Belege dafür, dass KI die Automatisierung von Tätigkeiten erleichtern kann, die sich zuvor nicht automatisieren ließen. Bis vor Kurzem betraf die Automatisierung vor allem Routineaufgaben (Autor, D., F. Levy und R. Murnane, 2003^[20]) und geringqualifizierte Tätigkeiten (Nedelkoska, L. und G. Quintini, 2018^[21]).¹ Einigen Studien zufolge ermöglicht KI aufgrund ihrer speziellen Fähigkeiten nun die Automatisierung nicht-routinemäßiger und/oder hochqualifizierter Tätigkeiten (Aghion et al., 2017^[9]). Der nächste Abschnitt zeigt, dass auch in hochqualifizierten Berufen ein starkes KI-Potenzial besteht – darunter einige sogenannte „White Collar“-Berufe, die nicht-routinemäßige kognitive Tätigkeiten erfordern, z. B. in Bereichen wie Labortechnik, Ingenieurwesen und Versicherungsmathematik.

¹ Diese Trends des technologischen Wandels werden je nach betroffener Berufsgruppe als „skill-biased“ oder „routine-biased“ bezeichnet.

17. Wie im *Employment Outlook 2019* der OECD (2019^[22]) dargelegt, könnte die Bedrohung, die KI für Arbeitskräfte darstellt, die in der Vergangenheit stärker vor wirtschaftlichen Veränderungen geschützt waren – z. B. Beschäftigte im „White Collar“-Bereich mit relativ hohem Bildungsniveau und sicheren Arbeitsplätzen –, ein weiterer Grund für die Besorgnis sein, die diese Technologie in der Öffentlichkeit auslöst. Falls KI aber auch Arbeitskräfte in höheren Lohngruppen verdrängen sollte, könnte damit zugleich der bisherige mit Automatisierungstechnologien assoziierte Trend einer steigenden Einkommensungleichheit und Polarisierung abgeschwächt werden.²

2.3. In bestimmten Berufen besteht ein stärkeres KI-Potenzial

18. Um die Fähigkeiten von KI (und ihre voraussichtlichen Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt) zu verstehen, kann u. a. untersucht werden, welche Berufe Tätigkeiten umfassen, die von KI ausgeführt werden können.³ Solche Berufe werden hier als „Berufe mit KI-Potenzial“ bezeichnet. Es ist darauf hinzuweisen, dass „besonders hohes KI-Potenzial“ nicht zwangsläufig bedeutet, dass die betreffenden Berufe mit größter Wahrscheinlichkeit durch KI ersetzt werden. Die Studien stützen sich lediglich auf eine Beurteilung der technischen Machbarkeit von KI, andere Faktoren werden dabei nur begrenzt berücksichtigt. Desgleichen bedeutet „besonders geringes Potenzial“ nicht zwangsläufig, dass die betreffenden Berufe nicht von Automatisierung bedroht sind. Einige dieser Berufe sind durch andere Technologien bedroht, die bereits zu ihrer Automatisierung geführt haben oder in Zukunft dazu führen könnten. Die Tätigkeiten der Arbeitskräfte in den Berufen mit dem stärksten KI-Potenzial könnten sich erheblich verändern. Diese Beschäftigten könnten durch KI aber auch ergänzt werden (anstatt durch sie ersetzt zu werden).

19. Unabhängig davon, ob KI einen positiven oder negativen Effekt auf die Beschäftigung hat, dürften die Auswirkungen in den Berufen und Branchen am größten sein, in denen Tätigkeiten, die von KI wahrgenommen werden können, besonders großes Gewicht haben. In der Forschung wird das KI-Potenzial mit verschiedenen Methoden gemessen:

- Webb (2020^[23]) sucht KI-Patente (d. h. Patente, deren Titel oder Abstracts englische Schlagwörter wie „supervised learning“ und „reinforcement learning“ zusammen mit „neural network“ und „deep learning“ enthalten) und beurteilt anschließend (anhand von Verb-Substantiv-Paaren⁴), inwieweit der Text der Patente mit dem von Stellenbeschreibungen (aus der O*NET-Datenbank für Berufe und Tätigkeiten) übereinstimmt, um festzustellen, in welchen Berufen das größte KI-Potenzial besteht.
- Felten et al. (2019^[24]) untersuchen mit der Unterstützung mehrerer Informatik-Doktorand*innen, welche Berufe Fähigkeiten erfordern, bei denen KI besonders große Fortschritte erzielt hat. Dazu verknüpfen sie unterschiedliche KI-Kategorien (wie abstrakte Strategiespiele, Übersetzung und Bilderkennung) mit beruflichen Kompetenzen (aus der O*NET-Datenbank).
- Brynjolfsson et al. (2018^[25]) ermitteln für KI geeignete Tätigkeiten (aus der O*NET-Datenbank) und Berufe (anhand von Daten von Burning Glass), wobei sie u. a. folgende Kriterien heranziehen: Ist die Tätigkeit mit Regeln beschreibbar? Erfordert sie komplexes, abstraktes Denken? Ist sie sehr routinelastig und repetitiv?

² Dieser Effekt könnte sich jedoch verringern, wenn höher qualifizierte Personen beginnen, um Arbeitsplätze zu konkurrieren, die normalerweise für geringer qualifizierte Personen vorgesehen sind (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2018^[121]).

³ Die meisten Forscher*innen verfolgen einen derartigen tätigkeitsbasierten Ansatz (nach der einflussreichen Studie von Autor, D., F. Levy und R. Murnane (2003^[20]), um die Veränderungen am Arbeitsmarkt zu untersuchen. Es ist effektiv unwahrscheinlich, dass sich KI sofort auf einen gesamten Beruf auswirkt. Deutlich wahrscheinlicher ist es, dass ein Arbeitsplatz teilweise durch KI automatisiert wird. Bestimmte Tätigkeiten dürften sich dabei leichter durch KI ersetzen lassen als andere.

⁴ In KI-Patenten kommen beispielsweise folgende englische Verb-Substantiv-Paare häufig vor: classify image, predict quality, generate rating.

2.3.1. In einigen hochqualifizierten Berufen besteht ein besonders starkes KI-Potenzial

20. Tabelle 2.1 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf die Berufe mit dem stärksten und dem geringsten KI-Potenzial (d. h. genauer gesagt dem stärksten ML-Potenzial, da das maschinelle Lernen in allen drei Studien als repräsentativ für die Fähigkeiten von KI behandelt wird).

Tabelle 2.1. Berufe mit dem größten und dem geringsten KI-Potenzial

	Webb (2020 ^[23])	Felten, Raj und Seamans (2019 ^[24])	Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018 ^[25])
Größtes Potenzial	<ul style="list-style-type: none"> – Hochqualifizierte Berufe wie Laborant*in, Augenoptiker*in und Chemieingenieur*in – Produktionsberufe, die Inspektion und Qualitätskontrolle umfassen (entspricht Webb zufolge einem kleinen Teil der geringqualifizierten Arbeitskräfte) 	<ul style="list-style-type: none"> – „White Collar“-Berufe wie Chemie-, Bau- und Nuklearingenieur*in, Epidemiolog*in, Versicherungsmathematiker*in, Statistiker*in, Kreditanalyst*in, Buchhalter*in, Computerprogrammierer*in, Operations Research Analyst*in 	<ul style="list-style-type: none"> – Concierge, Technische*r Zeichner*in, Kreditsachbearbeiter*in, Börsenhändler*in und Bestatter*in
Geringstes Potenzial	<ul style="list-style-type: none"> – Hochqualifizierte Berufe, die schlussfolgerndes Denken über neue Situationen erfordern (z. B. Forscher*in) – Berufe, die interpersonelle Kompetenzen erfordern (z. B. Lehrkraft und Manager*in), einschließlich manueller Berufe wie Barista, Küchenfachkraft oder Masseur*in 	<ul style="list-style-type: none"> – Körperliche Berufe wie Hauswirtschafter*in und Reinigungskraft, Cafeteria-Servicekraft, Tellerwäscher*in, Hotelportier*in, Fleischer*in und Fleischverpacker*in, Dachdecker*in und Anstreicher*in, Masseur*in, Fitnesslehrer*in 	<ul style="list-style-type: none"> – Masseur*in, Tierwissenschaftler*in, Archäolog*in, Ansager*in sowie Verputzer*in und Stuckateur*in

Anmerkung: Es handelt sich um Beispiele. Wegen der vollständigen Listen der betroffenen Berufe vgl. die jeweiligen Studien.

21. Eines der auffallendsten Ergebnisse dieser drei Studien ist, dass sich unter den Berufen mit dem größten KI-Potenzial einige hochqualifizierte Berufe befinden. Die Ergebnisse von Felten, Raj und Seamans (2019^[24]) zeigen, dass fast alle der am stärksten von KI betroffenen Berufe „White Collar“-Berufe sind, die einen höheren Abschluss erfordern. Bei Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018^[25]) und Webb (2020^[23]) ist das Qualifikationsspektrum der am stärksten betroffenen Berufe zwar etwas breiter, Webb stellt jedoch fest, dass die geringqualifizierten Berufe mit hohem KI-Potenzial nur einen kleinen Teil der Erwerbsbevölkerung ausmachen.⁵

22. Dass hochqualifizierte Berufe ein starkes KI-Potenzial besitzen, steht im Gegensatz zu anderen Forschungsergebnissen, denen zufolge geringqualifizierte Berufe stark von Automatisierungstechnologien (im weiteren Sinne) betroffen sind und deshalb dem höchsten Automatisierungsrisiko ausgesetzt sind (während dieses Risiko bei hochqualifizierten Berufen am geringsten ist). Dies zeigen z. B. Nedelkoska und Quintini (2018^[21]) sowie Frey und Osborne (2017^[26]). Nedelkoska und Quintini (2018^[21]) betrachten Reinigungskräfte beispielsweise als Beschäftigte, für deren Beruf ein starkes Risiko der Automatisierung innerhalb der nächsten zwanzig Jahre besteht. Laut Felten, Raj und Seamans (2019^[24]) sowie Webb (2020^[23]) stellt KI für Reinigungskräfte hingegen keine nennenswerte Bedrohung dar. Ein Grund für diesen Widerspruch ist möglicherweise in den technischen Innovationen der letzten zehn Jahre zu sehen, da die Studien von Nedelkoska und Quintini (2018^[21]) sowie von Frey und Osborne (2017^[26]) auf Daten aus dem Jahr 2013 basieren.

⁵ Nach Prüfung der Lohnunterschiede stellt Webb (2020^[23]) fest, dass besser bezahlte Berufe in der Regel stärker von KI betroffen sind. Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018^[25]) beobachten hingegen nur eine schwache Korrelation zwischen dem Lohnniveau und dem KI-Potenzial. Felten, Raj und Seamans (2019^[24]) gelangen nicht zu solchen Ergebnissen.

23. Ein anderer Grund sind möglicherweise die unterschiedlichen Definitionen, die die Analysen stark beeinflussen können.⁶ Die drei neueren Studien richten den Blick speziell auf die technischen Fähigkeiten des maschinellen Lernens. Die Studien von Nedelkoska und Quintini (2018_[21]) sowie Frey und Osborne (2017_[26]) befassen sich dagegen mit einem breiteren Spektrum technischer Fortschritte, das nicht nur KI, sondern auch mobile Robotik (wo KI nur teilweise angewendet wird) umfasst (Frey, C. und M. Osborne, 2018_[27]).⁷ Die enge Fokussierung der drei jüngeren Studien auf die technischen Fähigkeiten des maschinellen Lernens könnte dazu führen, dass die möglichen Folgen weniger aktueller KI-Anwendungen übersehen werden. Es ist beispielsweise denkbar, dass KI ältere Automatisierungstechnologien ersetzt oder darin eingebettet wird, wodurch ihre Anwendung leichter oder billiger wird. Sollte KI ältere Automatisierungstechnologien attraktiver machen, könnte der Effekt von KI auf die verschiedenen Qualifikationssegmente stärker dem früherer Automatisierungswellen entsprechen.

24. Die Forschung beschäftigt sich außerdem mit den Merkmalen, die die Berufe mit dem stärksten KI-Potenzial kennzeichnen. Während andere Automatisierungstechnologien in der Regel vor allem für Routineaufgaben geeignet sind (Autor, D., F. Levy und R. Murnane, 2003_[20]), besitzt KI Webb (2020_[23]) zufolge die Fähigkeit, nichtroutinemäßige Tätigkeiten, insbesondere nichtroutinemäßige kognitive Tätigkeiten, auszuführen. Felten, Raj und Seamans (2019_[24]) lenken die Aufmerksamkeit auf die kognitiven Fähigkeiten von KI, die sie als Fähigkeiten definieren, die „den Erwerb und die Anwendung von Wissen bei der Problemlösung beeinflussen“. Die Verbesserungen der KI im Hinblick auf Problemlösung, logisches Schlussfolgern und Wahrnehmung können erklären, weshalb hochqualifizierte Techniker*innen und Ingenieur*innen in den Studien von Felten, Raj und Seamans (2019_[24]) und Webb (2020_[23]) stark von KI betroffen sind.

25. Hinsichtlich der demografischen Merkmale stellt Webb (2020_[23]) fest, dass Berufe, die höhere Kompetenzen sowie Urteilsvermögen und Erfahrung erfordern, in der Regel stärker von KI betroffen sind. Das bedeutet, dass besser ausgebildete Arbeitskräfte und Arbeitskräfte, die älter als 30 sind, einem höheren Risiko ausgesetzt sind. Webb (2020_[23]) stellt außerdem fest, dass männliche Arbeitskräfte mit größerer Wahrscheinlichkeit von KI (sowie Robotisierung und Software) betroffen sind. Er führt dies darauf zurück, dass von Frauen dominierte Berufe in der Regel mehr zwischenmenschliche Kompetenzen erfordern, während von Männern dominierte Berufe in der Regel mehr technische Kompetenzen voraussetzen.

26. In diesen Studien werden die Berufe mit dem stärksten KI-Potenzial auf der Grundlage der technischen Machbarkeit bestimmt. Auf die Frage, ob die Arbeitskräfte in diesen Berufen ersetzt oder ergänzt werden und wie sich KI auf die Nachfrage nach menschlicher Arbeit insgesamt auswirkt, wird weniger eingegangen.

2.3.2. Die Entwicklung von KI stößt immer noch an Grenzen

27. Trotz der Fortschritte bei den technischen Fähigkeiten von KI sind ihr noch Grenzen gesetzt. Webb (2020_[23]) nennt soziale Interaktion als wichtiges Merkmal von Berufen, die unabhängig vom Kompetenzniveau ein geringes KI-Potenzial aufweisen. Er stellt außerdem fest, dass Berufe, die manuelle Arbeit mit

⁶ Webb (2020_[23]) zeigt, dass sich das Spektrum der stark von den technologischen Veränderungen betroffenen Berufe ändert, wenn er seine Analyse so anpasst, dass andere Technologien als ML berücksichtigt werden, insbesondere Software und Roboter. Roboter automatisieren in der Regel repetitive manuelle Tätigkeiten (z. B. den Transport von Werkstoffen in Fabriken), während Software nichtmanuelle Tätigkeiten übernimmt, die im Voraus programmiert werden können (z. B. die Arbeiten von Rundfunktechniker*innen).

⁷ Beide Studien basieren auf einer Untersuchung, in der ein auf ML spezialisiertes Forscherteam eine Liste von Berufen anhand der folgenden Frage beurteilte: „Können die in diesem Beruf ausgeführten Tätigkeiten mithilfe von Big Data ausreichend spezifiziert werden, um von modernen computergesteuerten Anlagen ausgeführt zu werden?“ Die Frage bezieht sich nicht speziell auf KI, es ist jedoch wahrscheinlich, dass die ML-Forscher*innen in ihrer Beurteilung neben anderen Automatisierungstechnologien auch die Fähigkeiten von KI untersucht haben.

interpersonellen Kompetenzen verbinden, zu den am wenigsten von KI betroffenen Berufen gehören. Ein Beispiel ist Massagetherapie, eine Tätigkeit, die laut allen drei Studien ein geringes KI-Potenzial hat. Körperliche Tätigkeiten sind Felten, Raj und Seamans (2019^[24]) zufolge nur schwach von KI betroffen (wenngleich dies nicht ausschließt, dass andere Technologien ein Risiko für sie darstellen können). Hochqualifizierte Forschungsberufe, die entweder Schlussfolgerungen über neue Situationen erfordern (Webb, 2020^[23]) oder manuelle Aktivitäten beinhalten (z. B. Tierwissenschaftler*in und Archäolog*in (Brynjolfsson, E., T. Mitchell und D. Rock, 2018^[25])), besitzen ebenfalls nur ein geringes KI-Potenzial.

28. Es mag nicht ganz klar sein, warum geringqualifizierte Berufe möglicherweise nur wenig von KI betroffen sind. Gries und Naudé (2018^[28]) verweisen auf das *Moravec'sche Paradox*, demzufolge Tätigkeiten, die hochrangiges Denken voraussetzen, relativ wenig Rechenaufwand erfordern, während Tätigkeiten, die sensomotorische Kompetenzen voraussetzen (die in der Regel mit geringqualifizierter Beschäftigung assoziiert sind), enorme Rechenressourcen erfordern. Sie weisen darauf hin, wie schwierig es sei, Menschen durch Technologien in Berufen wie Sicherheitskraft, Reinigungskraft, Gärtner*in, Rezeptionist*in und Koch*Köchin zu ersetzen. Das *Polanyi-Paradox*, das mit dem *Moravec'schen Paradox* verwandt ist, beschreibt die Tatsache, dass es für Computer schwierig ist, Tätigkeiten auszuführen, die auf implizitem Wissen (*tacit knowledge*) basieren (d. h. Traditionen, Intuition, ererbte Praktiken, implizite Werte und Vorurteile). Eine solche Tätigkeit wäre beispielsweise einen Kleiderschrank einzuräumen. Michael Polanyi hat den Satz geprägt: „Menschen wissen mehr, als sie ausdrücken können“ (Polanyi, 2009^[29]). Es gibt viele Tätigkeiten, die Menschen intuitiv ausführen, ohne die angewandten Regeln oder Verfahren erklären zu können.

29. Mit weiteren Fortschritten der KI können einige dieser Grenzen vielleicht überwunden werden, sodass bestimmte Berufe, die bislang kein KI-Potenzial besaßen, ebenfalls betroffen sein könnten. In der Informatik wird darüber diskutiert, ob KI (und insbesondere maschinelles Lernen) das *Polanyi-Paradox* in Zukunft auflösen könnte, indem sie Antworten anhand von Statistiken und induktivem Denken „errät“, wenn keine formalen Verfahrensregeln vorliegen (Autor, 2014^[30]). Aber selbst dann findet maschinelles Lernen die richtige Antwort möglicherweise nur im Durchschnitt, während viele der wichtigsten und aufschlussreichsten Ausnahmen nicht erfasst werden. Die Lösung erfordert möglicherweise eine Vielzahl verschiedener Inputs: Geistes- und Muskelarbeit, Fachkenntnisse und intuitives Urteilsvermögen, Regeln und gute Ermessensentscheidungen sowie Kreativität und mechanische Wiederholung. Generell spielen all diese Inputs eine wichtige Rolle: Verbesserungen in einem Bereich machen andere Inputs nicht überflüssig. Die wichtigste Unzulänglichkeit von KI-Systemen besteht aber wohl darin, dass sie dazu gedacht sind, Fragen zu beantworten, nicht Fragen zu stellen (Brynjolfsson, E. und A. McAfee, 2017^[31]). Das bedeutet, dass Unternehmer*innen, Innovator*innen, Wissenschaftler*innen, Kreative und andere Menschen, die Probleme lösen, Chancen ergreifen und neue Wege einschlagen können, auch in Zukunft wichtig sein werden.

2.4. KI führt nicht nur zu Automatisierung, sondern wird Arbeitskräfte auch ergänzen

30. Die im vorangegangenen Abschnitt erörterten Studien beruhen auf dem Gedanken, dass bestimmte Tätigkeiten besser für KI geeignet sind als andere. In der Studie von Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018^[25]) wird festgestellt, dass viele Berufe sowohl Tätigkeiten enthalten, die für maschinelles Lernen gut geeignet sind, als auch solche, die weniger gut dafür geeignet sind. Ökonom*innen müssen beispielsweise wirtschaftliche Trends auf der Basis von Datensätzen prognostizieren – eine Tätigkeit, die wegen der Nutzung digitaler Daten gut für maschinelles Lernen geeignet ist. Zugleich müssen sie aber

auch Berichte über ihre Forschungsarbeiten schreiben und Empfehlungen abgeben, was von ML-Technologien nicht übernommen werden kann, da dies komplexes, abstraktes Denken voraussetzt und es zudem als wichtig erachtet wird, dass diese Berichte und Empfehlungen von Menschen stammen.⁸

31. Da nicht alle Tätigkeiten, die zu einem Beruf gehören, von KI ausgeführt werden können, wird der Effekt von KI wohl darin bestehen, Arbeitskräfte in bestimmten Tätigkeiten zu ersetzen. Dadurch werden sich die Berufe verändern (was in Abschnitt 4.1 eingehender erörtert wird), aber nicht völlig verschwinden. In den veränderten Berufen werden die Arbeitskräfte demnach überwiegend durch KI ergänzt (Fossen, F. und A. Sorgner, 2019^[32]). KI hat also nicht nur das Potenzial, Arbeitsplätze zu zerstören, sondern auch sie zu ergänzen.

32. KI wird die Produktivität voraussichtlich nicht nur dadurch steigern, dass sie es Unternehmen ermöglicht, Arbeitskräfte durch billigeres Kapital zu ersetzen, sondern auch weil sie Arbeitskräfte ergänzen kann (Agrawal, A., J. Gans und A. Goldfarb, 2019^[5]). KI ermöglicht es einigen Arbeitskräften bereits heute, ihre Produktivität zu steigern, indem sie ihnen mehr Möglichkeiten gibt, ihre sozialen Interaktionskompetenzen zu nutzen und neue Situationen zu analysieren (Bereiche, in denen Menschen leistungsstärker als KI sind, wie in Abschnitt 4.3.2 gezeigt). Gesundheitsforscher*innen gehen beispielsweise davon aus, dass KI medizinische Fachkräfte ergänzen und es ihnen so ermöglichen wird, sich verstärkt auf menschliche Kompetenzen wie Einfühlungsvermögen, Überzeugungskraft und Einordnung in den Gesamtkontext zu konzentrieren (Davenport, T. und R. Kalakota, 2019^[33]). Ein weiteres Beispiel, das im OECD-Bericht *Künstliche Intelligenz in der Gesellschaft* (OECD, 2020^[3]) beschrieben wird, ist der Chatbot von Alibaba, der im Schlussverkauf 2017 mehr als 95 % der Kundenanfragen bearbeitete. Dadurch konnten sich die Kundenbetreuer*innen um die komplizierteren oder individuelleren Anfragen kümmern (Zeng, 2018^[34]). In diesem Literaturüberblick werden noch viele andere Beispiele aufgeführt: Das Spektrum reicht von KI, die Lehrkräften gestattet, individuelle Lernformen anzubieten, bis hin zu KI, die eine Mensch-Maschine-Interaktion in Fertigungsumgebungen ermöglicht.

33. Agrawal, Gans und Goldfarb (2019^[5]) berichten, dass KI-Start-ups im Hinblick auf die Auswirkungen von KI auf die Beschäftigung zwar häufig von Substitution, Komplementarität und Nachfragesteigerung sprechen, dass aber nur sehr wenige dieser Unternehmen sagen, dass die von ihnen entwickelten Technologien eindeutig dazu gedacht sind, Arbeitskräfte zu ersetzen. Auch Unternehmensumfragen deuten darauf hin, dass die Entscheidung, KI einzuführen, eher darauf abzielt, menschliche Fähigkeiten zu ergänzen, als Arbeitskräfte zu ersetzen (Accenture, 2018^[35]; Bessen et al., 2018^[11]).

⁸ Insgesamt gehen Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018^[25]) davon aus, dass der Beruf „Ökonom*in“ in Bezug auf die Anwendbarkeit von ML nahe am Durchschnitt liegt.

3 Die Auswirkungen von KI auf Produktivität, Beschäftigung und Löhne

34. Erörterungen des zu erwartenden Effekts von KI auf Produktivität, Beschäftigung und Löhne sind mit erheblicher Unsicherheit behaftet. KI wird voraussichtlich die Produktivität erhöhen. Umstritten ist jedoch, wie stark dieser Effekt ausfallen wird, vor allem wenn die entsprechenden Prognosen von technologischen Fortschritten ausgehen, die noch gar nicht erzielt wurden.

35. Selbst wenn KI die Produktivität erheblich steigern sollte, ist nicht klar, ob dies den Arbeitskräften in Form höherer Beschäftigung und/oder Löhne zugutekommt. KI kann die Automatisierung erleichtern und so die Arbeitsnachfrage drücken und zu einer Entkoppelung der Produktivität von Arbeitsmarktergebnissen wie Beschäftigung und Lohnniveau führen. Diese Kräfte können dem Produktivitätseffekt entgegenwirken, der eigentlich die Arbeitsnachfrage, die Beschäftigung und die Löhne erhöhen sollte.

36. Die theoretischen Ergebnisse sind uneindeutig. Empirische Befunde aus der KI-Nutzung der letzten zehn Jahre lassen in Berufen, in denen KI besonders gut eingesetzt werden kann, jedoch keinen generellen Beschäftigungs- und Lohnrückgang erkennen. Einigen Untersuchungen zufolge hat KI einen positiven Effekt auf das Lohnwachstum. Beschäftigte in hochentlohnten Tätigkeiten und/oder mit höherem Bildungsabschluss verzeichnen dabei stärkere Zuwächse. Dies lässt vermuten, dass solche Arbeitskräfte besser in der Lage sind bzw. sich in einer besseren Position befinden, KI zur Ergänzung ihrer eigenen Arbeitsleistung und Steigerung ihrer Produktivität zu nutzen und so an den Vorteilen der KI teilzuhaben.

3.1. KI wird die Produktivität steigern, die Stärke dieses Effekts ist jedoch umstritten

37. Ein Großteil der vorliegenden wirtschaftswissenschaftlichen Literatur zu KI konzentriert sich auf das Potenzial, dass sie zur Steigerung der Produktivität eröffnet, indem sie Kosten senken hilft (z. B. wenn sie es Unternehmen ermöglicht, Arbeit durch billigeres Kapital zu ersetzen), Arbeitskräfte ergänzt und zu komplementären Innovationen anspricht (Agrawal, A., J. Gans und A. Goldfarb, 2019^[5]; Brynjolfsson, E., D. Rock und C. Syverson, 2017^[6]; Cockburn, I., R. Henderson und S. Stern, 2018^[7]). Die Produktivität ist jedoch im letzten Jahrzehnt trotz erheblicher Fortschritte in der KI – und insbesondere bahnbrechender Entwicklungen im Bereich des maschinellen Lernens – sowie bei anderen Technologien nur vergleichsweise langsam gestiegen (Andrews, D., C. Criscuolo und P. Gal, 2016^[36]). Dies ist das sogenannte *Produktivitätsparadoxon*⁹. Die Forschung versucht die Ursachen dieses Phänomens zu ergründen, um vorhersagen zu können, wie KI sich auf das künftige Arbeitsproduktivitätswachstum auswirken wird.

38. Eine mögliche Erklärung ist, dass das Potenzial der KI (wie generell auch anderer technologischer Fortschritte der jüngsten Zeit) überschätzt wurde, weshalb sich die erwarteten Produktivitätszuwächse nie einstellen werden. Gordon (2018^[37]) beispielsweise betrachtet den geringen Beitrag, den KI und Robotik

⁹ Analog zum Paradoxon von Solow, der sagte: „Das Computerzeitalter ist überall zu sehen, außer in den Produktivitätsstatistiken“ (Brynjolfsson, E., D. Rock und C. Syverson, 2017^[6]).

zur Produktivität leisten, als einen der Gründe dafür, dass das Produktivitätswachstum zwischen 2006 und 2016 geringer war als im vorangegangenen Zehnjahreszeitraum.¹⁰ Seiner Ansicht nach hat sich der Großteil des Effekts der KI bereits eingestellt (z. B. mit Chatbots für den Kundenservice, Suchmaschinen für juristische Texte oder Instrumenten für die Röntgendiagnose). Bei den künftigen Innovationen (etwa in Bereichen wie Medizinforschung, Big Data und autonomes Fahren) dürfte es sich eher um marginale Verbesserungen existierender Technologien handeln als um echte Technologiesprünge, die große Produktivitätssteigerungen ermöglichen würden. Gordon rechnet damit, dass KI Menschen bei einigen Tätigkeiten ersetzen wird. Dabei handle es sich jedoch um einen schrittweise voranschreitenden Prozess und nicht um einen radikalen Umbruch. Er erwartet auch, dass KI menschliche Arbeit in anderen Bereichen ergänzen wird. Dies dürfte jedoch nur begrenzte Produktivitätssteigerungen ermöglichen.

39. Andere Wissenschaftler*innen sind hingegen der Ansicht, dass KI die Produktivität als Universaltechnologie (vgl. Abschnitt 2.2) noch beträchtlich steigern kann. Sie führen das Produktivitätsparadoxon in erster Linie auf Verzögerungen bei der KI-Einführung und den entsprechenden Umstrukturierungen zurück. Deshalb könne es Jahre, wenn nicht Jahrzehnte dauern, bis eine solche Universaltechnologie wesentliche wirtschaftliche Vorteile bringt (Brynjolfsson, E., D. Rock und C. Syverson, 2017^[6]; Brynjolfsson, E., T. Mitchell und D. Rock, 2018^[25]).¹¹ OECD-Analysen bestätigen, dass die ungleichmäßige Einführung und Verbreitung digitaler Technologien in verschiedenen Teilen der Wirtschaft einen starken produktivitätsbremsenden Effekt hat (Andrews, D., C. Criscuolo und P. Gal, 2016^[36]). Diese Analysen lassen vermuten, dass die Digitalisierung das Leistungsgefälle zwischen Unternehmen mit höherer und geringerer Produktivität vergrößert hat (Gal et al., 2019^[38]), da es weniger produktiven Unternehmen u. U. schwerer fällt, Arbeitskräfte anzuwerben, die die für eine effiziente Nutzung digitaler Technologien erforderlichen Kompetenzen besitzen.

40. Auch andere Faktoren könnten zum Produktivitätsparadoxon beigetragen haben:

- Qualitätsverbesserungen in Hochtechnologieprodukten lassen sich schwer messen. Dies kann zu Fehlern in den Produktivitätsstatistiken führen (Byrne, D. und D. Sichel, 2017^[39]).
- Aufgrund einer „Winner-takes-most“-Dynamik fließt der Großteil der Vorteile der KI einer kleinen Zahl führender Unternehmen zu („Superstarunternehmen“), denen es aufgrund ihrer Marktmacht möglich ist, den Technologiezugang anderer Unternehmen zu behindern (vgl. (Brynjolfsson, E., D. Rock und C. Syverson, 2017^[6]) sowie Abschnitt 4.5). Schwellnus et al. (2018^[40]) schreiben den „Winner-takes-most“-Effekt allerdings nicht wettbewerbsschädigenden Kräften, sondern technologischer Dynamik zu.
- Die Automatisierung wird zu rasch vorangetrieben, was dazu führt, dass die *falschen Arten* von KI¹² eingesetzt werden und Mismatches zwischen Kompetenzen und neuen Technologien entstehen, wodurch sich das Produktivitätswachstum verlangsamt (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2018^[13]).

41. Die Abwägung zwischen den verschiedenen Argumenten, die für und gegen das Potenzial der KI zur Steigerung der Produktivität sprechen, ist u. a. deshalb schwierig, weil sich das Produktivitätswachstum mehrere Jahre im Voraus stets nur schwer vorhersagen lässt. Dies gilt umso mehr, wenn eine

¹⁰ Gordon (2018^[37]) stellt die These auf, wonach die IT-Revolution, die die Produktivität zwischen 1996 und 2006 steigen ließ, inzwischen das „Reifestadium“ erreicht habe. Dies zeige sich an der in vielen Gebieten rückläufigen Forschungsproduktivität, die echte technologische Umwälzungen in Zukunft weniger wahrscheinlich mache.

¹¹ Laut einer Erhebung von Ransbotham et al. (2019^[71]) verzeichnen 40 % der Unternehmen, die große Investitionen in KI tätigen, dadurch bislang keine wirtschaftlichen Gewinne.

¹² Wie Acemoglu und Restrepo (2020^[49]) erläutern, handelt es sich hierbei um Arten von KI, die zwar Arbeitskräfte ersetzen können, aber nicht gut genug sind, um neue Tätigkeitsfelder entstehen zu lassen und die Produktivität so stark anzuheben, dass die Nachfrage nach menschlicher Arbeit steigt.

vorhergesagte Produktivitätssteigerung auf der Erfindung einer komplett neuen Technologie oder einer komplett neuen Anwendung einer existierenden Technologie basiert. Cowen (2016^[41]) veranschaulicht dieses Problem der „eigenen begrenzten Vorstellungskraft“ anhand bahnbrechender technologischer Entwicklungen der Vergangenheit, die komplett überraschend kamen, wie z. B. die Entdeckung der Röntgenstrahlung, der Radiowellen und des Transistors. Cappelli (2020^[42]) weist darauf hin, dass Thesen, die auf noch zu erzielenden künftigen Fortschritten basieren, zwar leicht aufzustellen, aber unmöglich zu widerlegen sind. Trotz dieser verschiedenen Probleme haben einige Beratungsfirmen versucht, den potenziellen Beitrag der KI zum Wirtschaftswachstum quantitativ zu bewerten (Kasten 3.1). Diesen Schätzungen zufolge könnte KI die globale Wirtschaftsleistung bis 2030 um bis zu 15,7 Bill. USD steigern (PwC, 2018^[43]).

Kasten 3.1. Schätzungen des wirtschaftlichen Potenzials von KI

Untersuchungen verschiedener Beratungsfirmen legen nahe, dass KI enormes Potenzial zur Steigerung der globalen Wirtschaftsleistung besitzt (Tabelle 3.1). Beratungsfirmen betrachten KI in der Regel als revolutionäre und transformative Kraft, die die Wirtschaftsleistung insofern steigern kann, als sie die Produktivität erhöht (indem sie Arbeitskräfte ersetzt und Arbeitskräfte sowie Kapital ergänzt), den Wettbewerb verstärkt, die Innovationsverbreitung verbessert und Einnahmeströme für KI-produzierende Firmen entstehen lässt. Die von McKinsey (2018^[44]) geschätzte Erhöhung um 13 Bill. USD bis 2030 entspricht einem jährlichen zusätzlichen Beitrag zum BIP von 1,2 %. Das sind mehr als die zusätzlichen 0,4 %, die die Robotisierung in den 1990er Jahren brachte, und auch mehr als die zusätzlichen 0,6 %, die sich aus der zunehmenden IT-Verbreitung in den 2000er Jahren ergaben (McKinsey, 2018^[44]). Der Schätzwert von 14 Bill. USD bis 2035, zu dem Accenture (2017^[45]) gelangt, ergibt sich aus einem unterstellten Anstieg der Arbeitsproduktivität, der sich in einigen Ländern auf bis zu 38 % beläuft (Accenture, 2017^[45]). Die Untersuchungen, die sich auch mit der Frage der Arbeitsplatzverluste befassen, gehen im Allgemeinen davon aus, dass diese auf längere Sicht durch neu entstehende Arbeitsplätze aufgewogen werden.

Tabelle 3.1. Schätzungen des wirtschaftlichen Potenzials von KI

	Effekt	Zeitraumen
Accenture (2017 ^[45])	14 Bill. USD*	Bis 2035
Analysis Group (2016 ^[46]) von Facebook finanzierte Untersuchung	1,49-2,95 Bill. USD	Bis 2026
McKinsey (2018 ^[44])	13 Bill. USD	Bis 2035
PwC (2018 ^[43])	15,7 Bill. USD	Bis 2030

Anmerkung: * bezogen auf 16 Branchen in 12 Volkswirtschaften, auf die 50 % der globalen Wirtschaftsleistung entfallen. Dabei kommen unterschiedliche Schätzmethoden zum Einsatz, die u. a. folgende Faktoren berücksichtigen: Produktivitätssteigerungen durch KI (Substitution von Arbeitskräften und Verstärkung des Effekts von Kapital und Arbeit), höherer Verbrauch, stärkere Innovationsverbreitung und Erträge für KI-produzierende Unternehmen.

Diese Untersuchungen richten – mit Ausnahme der von McKinsey (2018^[44]) – relativ wenig Augenmerk auf die Übergangsphase. McKinsey (2018^[44]) räumt ein, dass es zu negativen Externalitäten im Zusammenhang mit Entlassungen und Lohnpolarisierung kommen kann, und berücksichtigt diese Umstellungskosten in der Schätzung des Endbetrags. PwC (2018^[43]) und McKinsey (2018^[44]) unterstellen, dass die Entwicklung bei der Einführung von KI einer S-Kurve folgt, mit einem langsameren Beginn und einer anschließenden Beschleunigung.

42. Was lässt sich daraus für das künftige Produktivitätswachstum ableiten? Sollte Gordon (2018^[37]) recht haben, dürfte der Effekt künftiger KI-Entwicklungen bescheiden ausfallen. Sollte das langsame

Wachstum jedoch eine Folge von Verzögerungen bei der KI-Einführung und den entsprechenden Umstrukturierungen sein, könnten die Projektionen, die von einem erheblichen Wirtschaftswachstum ausgehen, hingegen zutreffen. In diesem Fall würde das Wachstum einer S-Kurve folgen: Auf einen langsamen Start, der den zur Nutzung der neuen Technologie zunächst erforderlichen Lern-, Investitions- und Einführungsanstrengungen geschuldet ist, würde eine Beschleunigung infolge von Wettbewerb und verbesserten komplementären Technologien folgen. In der letzten Phase würde sich das Wachstum wieder verlangsamen, weil die Technologie allgemein eingesetzt wird, sodass der Wettbewerb am Markt die Erträge der Unternehmen, die frühzeitig in sie investiert haben, verringert.¹³

3.2. Die Ergebnisse theoretischer Modelle zum Beschäftigungs- und Lohneffekt von KI sind uneindeutig

43. In diesem Abschnitt wird erläutert, warum der Effekt von KI auf Beschäftigung und Löhne nicht eindeutig ist. Die KI-gestützte Automatisierung dürfte die Arbeitsnachfrage zwar effektiv senken, kann sie unter bestimmten Umständen aber auch erhöhen.

3.2.1. Die KI-gestützte Automatisierung dürfte die Arbeitsnachfrage senken und zu einer Entkoppelung von Lohn- und Produktivitätswachstum führen

44. Ökonomen haben ein theoretisches Konzept entwickelt, das KI als *Automatisierungstechnologie* behandelt, um zu erklären, warum diese Technologie die Produktivität steigern und zugleich die Arbeitsnachfrage, die Löhne und die Lohnquote senken könnte (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2018_[13]). Zu den Unzulänglichkeiten dieses Konzepts gehört, dass es von der – noch zu beweisenden – Annahme ausgeht, dass KI mit anderen Automatisierungstechnologien wie Industrierobotik oder sonstigen automatisierten Anlagen gleichzusetzen ist, und dass es die inhärenten Fähigkeiten von KI nicht berücksichtigt (Naudé, 2019_[47]). Dies wird in Abschnitt 3.2.3 erörtert.

45. Das entscheidende Merkmal von Automatisierungstechnologien ist, dass sie das Spektrum der Produktionsschritte erweitern, die durch Kapital erledigt werden können. Dadurch steigt der Anteil dieser Produktionsschritte, wohingegen der Anteil der von Arbeitskräften wahrgenommenen Aufgaben sinkt (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2019_[48]). Dies kann Unternehmen die Möglichkeit eröffnen, Arbeit durch billigeres Kapital zu ersetzen und so Produktivitätszuwächse zu erzielen. Kapital übernimmt also Aufgaben, die zuvor von Arbeitskräften erledigt wurden, womit es zu einem *Verdrängungseffekt* kommt. Dadurch wird die Arbeitsnachfrage reduziert und Abwärtsdruck auf Beschäftigung und Löhne ausgeübt. Weil dieser Verdrängungseffekt zugleich die gesamtwirtschaftliche Produktion erhöht, führt er tendenziell dazu, dass sich der Anteil der Erwerbseinkommen am Nationaleinkommen¹⁴ verringert und die Löhne vom Produktivitätswachstum abgekoppelt werden. Dies ist einer der Gründe, warum die Produktivität steigen kann, ohne dass die Beschäftigten entsprechende Lohnzuwächse verzeichnen. Dies ist auch der Grund, warum Modelle, die KI als eine rein faktorvermehrnde technologische Veränderung behandeln – d. h. als eine Kraft, die die Produktivität von Arbeit oder Kapital erhöht – und den Verdrängungseffekt außer Acht lassen, irreführende Ergebnisse liefern können (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2019_[48]).

¹³ Die Annahme, wonach neue Technologien mit einer S-förmigen Entwicklung einhergehen, ist laut Geroski (2000_[120]) fast ein stilisierter Fakt.

¹⁴ Schwellnus et al. (2018_[40]) zeigen, dass der technologische Fortschritt sowie (in geringerem Umfang) die Globalisierung den Großteil des Rückgangs der Lohnquote erklären können, der in den letzten zwanzig Jahren beobachtet wurde. Ein kapitalvermehrender technologischer Fortschritt oder technologiebedingter Rückgang der relativen Investitionspreise verringert die Lohnquote, indem er eine Substitution von Arbeit durch Kapital fördert und die Kapitalintensität insgesamt erhöht.

3.2.2. Die Entstehung neuer arbeitsintensiver Tätigkeiten kann die Arbeitsnachfrage jedoch auf lange Sicht erhöhen

46. Selbst wenn vom Verdrängungseffekt Abwärtsdruck auf Beschäftigung und Löhne ausgeht, kommen doch auch andere – gegenläufige – Effekte zum Tragen (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2018^[13]):

- Der *Produktivitätseffekt* führt über die Kosteneinsparungen, die sich aus der Automatisierung ergeben, zu einem Anstieg der Verbrauchernachfrage (in den Branchen, in denen automatisiert wurde,¹⁵ und/oder in anderen Branchen¹⁶). Dieser Anstieg erhöht wiederum die Nachfrage nach Arbeitskräften für nichtautomatisierte Tätigkeiten.
- Beim *Kapitalakkumulationseffekt* führt die Automatisierung zu einem Anstieg der Kapitalintensität der Produktion, der mit einer Kapitalbildung einhergeht, die zugleich die Nachfrage nach Arbeitskräften erhöht (für Tätigkeiten, in denen KI und Automatisierung menschliche Arbeit ergänzen).¹⁷
- Im Zuge der *Vertiefung der Automatisierung* erhöhen technologische Verbesserungen die Produktivität existierender Maschinen (ohne dass es zu einer zusätzlichen Verdrängung von Arbeitskräften käme) und verstärken so den Produktivitätseffekt, was mit einer weiteren Zunahme der Arbeitsnachfrage einhergeht.
- Die *Entstehung neuer hochproduktiver, arbeitsintensiver Tätigkeiten* erhöht die Lohnquote (möglicherweise auf längere Sicht) und wirkt so dem Effekt der Automatisierung entgegen.¹⁸

47. Acemoglu und Restrepo heben in ihrem Modell eine wesentliche Dynamik hervor: Der Produktivitätseffekt, der Kapitalakkumulationseffekt und die Vertiefung der Automatisierung sind wichtige Kräfte, die dem Abwärtsdruck auf Arbeitsnachfrage, Beschäftigung und Löhne entgegenwirken. Sie dürften jedoch kaum stark genug sein, um den Verdrängungseffekt auf kurze Sicht auszugleichen. Dies erklärt sich daraus, dass der Anteil der Produktivitätszuwächse, der auf den Faktor Arbeit entfällt, mit fortschreitender Automatisierung abnimmt.^{19,20} Auf längere Sicht hingegen kann die Entstehung neuer hochproduktiver,

¹⁵ Ein solcher Effekt war in den 1970er Jahren nach der Einführung der Geldautomaten zu beobachten, die zu Kosteneinsparungen und zusätzlicher Verbrauchernachfrage führten. Dies veranlasste die Banken dazu, neue Filialen zu eröffnen, womit der zunächst verzeichnete Beschäftigungsrückgang bei den Kassenangestellten ausgeglichen wurde (Bessen, 2015^[117]). Bessen (2018^[118]) zeigt, dass zahlreiche Wirtschaftszweige, z. B. die Textil-, Stahl- und Automobilindustrie, in Phasen rascher technologischer Fortschritte und Produktivitätszuwächse ein starkes Beschäftigungswachstum verzeichneten, obwohl diese Entwicklungen eigentlich einen Nettobeschäftigungsrückgang befürchten ließen.

¹⁶ Indem sie die Produktivität erhöhen und die Preise senken, haben bestimmte Technologien einen positiven Beschäftigungseffekt in anderen Branchen als denen, in denen sie eingesetzt werden (Autor, D. und A. Salomons, 2018^[123]). Wenn beispielsweise eine große Supermarktkette ein neues Geschäftsmodell einführt, mit dem erhebliche Skaleneffekte erzielt werden, die dann Preissenkungen ermöglichen, gestattet dies den Verbraucher*innen, mehr Geld für Produkte anderer Branchen auszugeben.

¹⁷ Acemoglu und Restrepo (2018^[13]) vermuten, dass dieser Effekt in der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts die Auswirkungen der raschen Zunahme der Traktornutzung in den Vereinigten Staaten abgeschwächt haben könnte, wobei sie Olmstead und Rhode (2002^[125]) zitieren.

¹⁸ So entstanden während der Industriellen Revolution z. B. neue Tätigkeiten in Bereichen wie Ingenieurwesen, Mechanik, Maschinenbedienung, Buchführung und Management, die erforderlich wurden, um die neuen technischen Möglichkeiten zu nutzen (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2018^[13]).

¹⁹ Insbesondere aufgrund dieses Aspekts werfen Acemoglu und Restrepo die Idee, wonach Automatisierung immer zu einem höheren Beschäftigungs- und Lohnniveau führt.

²⁰ Wenn sich Produktivitätssteigerungen nicht in den Erwerbseinkommen niederschlagen, kann dies die Verbrauchernachfrage ebenfalls senken und den Produktivitätseffekt verringern (Gries, T. und W. Naudé, 2018^[28]).

arbeitsintensiver Tätigkeiten (d. h. von Tätigkeiten, die Arbeit wieder zu einem zentralen Faktor des Produktionsprozesses machen (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2020^[49])) die Lohnquote über einen *Wiedereinstellungseffekt* erhöhen und so dem *Verdrängungseffekt* direkt entgegenwirken. Dies kann letztlich wieder zu einem ausgewogeneren Wachstumsprozess führen, bei dem KI die Produktivität, die Beschäftigung und die Löhne insgesamt erhöht.

48. Die Entstehung neuer arbeitsintensiver Tätigkeiten ist somit ein entscheidender Anpassungsmechanismus, der aber u. U. nur langsam zum Tragen kommt und wesentlich von der Art der eingesetzten KI abhängt. Nicht alle KI-Anwendungen lassen neue arbeitsintensive Tätigkeiten entstehen. So stellen Acemoglu und Restrepo (2019^[48]) ausgehend von einer Zerlegung der Veränderung der Tätigkeitsstruktur des Produktionsprozesses in den Vereinigten Staaten fest, dass die Verdrängungseffekte in den letzten dreißig Jahren deutlich stärker – und die Wiedereinstellungseffekte deutlich schwächer – waren als in den vorangegangenen Jahrzehnten. Sie weisen darauf hin, dass die *richtigen* Arten von KI entwickelt werden müssen, d. h. solche, die neue Tätigkeiten entstehen lassen und die Produktivität stark genug anheben, um auch die Arbeitsnachfrage zu steigern (im Gegensatz zu den *falschen* Arten von KI, die nur Arbeitskräfte ersetzen) (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2020^[49]).

3.2.3. Wie lässt sich dieses Modell speziell auf KI anwenden?

49. In ihrem Diskussionspapier zur Automatisierung von Prognoseprozessen „Artificial Intelligence: The Ambiguous Labor Market Impact of Automating Prediction“ passen Agrawal, Gans und Goldfarb (2019^[5]) das Modell von Acemoglu und Restrepo mittels eines tätigkeitsbasierten Ansatzes so an, dass es speziell den Effekt des maschinellen Lernens erfasst. Sie betrachten maschinelles Lernen als eine Weiterentwicklung im Bereich der Vorhersage, die menschliche Prognosetätigkeiten in Entscheidungsprozessen ersetzen kann (Verdrängungseffekt), z. B. bei der Sichtung von Lebensläufen in Einstellungsverfahren. Indem maschinelles Lernen die Prognoseunsicherheit verringert, kann es den relativen Arbeitsertrag erhöhen (z. B. wenn eine Chirurgin ein Programm zur Suche nach Krebszellen nutzt). Gleiches gilt für den Kapitalertrag, wenn maschinelles Lernen die Automatisierung von Entscheidungsprozessen fördert (kann z. B. die Vorhersage von Hindernissen automatisiert werden, besteht mehr Grund für die Automatisierung der Fahrzeugsteuerung). Maschinelles Lernen kann auch neue Entscheidungstätigkeiten entstehen lassen, die durch Kapital- oder Arbeitseinsatz ausgeführt werden können (in letzterem Fall kommt es dann zu einem Wiedereinstellungseffekt). Agrawal, Gans und Goldfarb (2019^[5]) zufolge gibt es aktuell allerdings wenig konkrete Beispiele hierfür.

50. Die Arbeiten von Agrawal, Gans und Goldfarb (2019^[5]) deuten darauf hin, dass sich das von Acemoglu und Restrepo entwickelte Modell mit dem Konzept der KI als einem Instrument zur Prognoseverbesserung vereinbaren lässt, das KI nicht mehr nur als Automatisierungstechnologie behandelt. So oder so liefert die Theorie jedoch keine eindeutigen Ergebnisse in der Frage, ob KI Beschäftigung und Löhne erhöht oder senkt. Dies hängt letztlich davon ab, welche Art von KI entwickelt und eingesetzt wird und wie sie entwickelt und eingesetzt wird. Außerdem spielen auch die Marktbedingungen (Caselli, F. und A. Manning, 2017^[50])²¹ sowie die politischen und institutionellen Rahmenbedingungen (OECD, 2019^[22]; Aghion, P., C. Antonin und S. Bunel, 2019^[51]; Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2018^[13]) eine Rolle. Auch die Effekte auf die Ungleichheit sollten nicht unterschätzt werden. Es besteht kein Grund zur Annahme, dass der Verdrängungseffekt, der Produktivitätseffekt sowie die Effekte neu entstehender arbeitsintensiver Tätigkeiten in allen Branchen, Regionen und soziodemografischen Gruppen gleich zum Tragen kommen werden.

²¹ Caselli und Manning (2017^[50]) zeigen, dass die Durchschnittslöhne bei zunehmendem Einsatz einer neuen Technologie unter bestimmten Bedingungen steigen, nämlich wenn der Preis von Investitionsgütern im Vergleich zu dem arbeitsintensiveren Konsumgütern sinkt und der Wettbewerb auf dem Markt nicht abnimmt. Wie immer gibt es dabei Gewinner und Verlierer. Wenn die Beschäftigten leicht den Arbeitsplatz wechseln können und/oder eine Umverteilung stattfindet, können jedoch alle Arbeitskräfte von steigenden Durchschnittslöhnen profitieren.

3.3. Die wenigen vorliegenden empirischen Daten lassen nicht darauf schließen, dass KI Beschäftigung und Löhne reduziert hat

51. Da die theoretischen Modelle keine eindeutigen Ergebnisse zum Effekt von KI auf Beschäftigung und Löhne liefern, lohnt es sich, einen Blick auf die empirische Literatur zu werfen. Diese ist allerdings nicht sehr umfangreich (vgl. Seamans und Raj (2018^[52]) und McElheran (2018^[53]) wegen einer Erörterung der diesbezüglichen Herausforderungen). Es gibt allerdings ein paar Studien, die ausgehend von neueren Daten aus den Vereinigten Staaten²² speziell den Effekt von KI – bzw. von maschinellem Lernen, das dabei als Bezugsgröße dient – untersuchen (d. h. nicht nur den Effekt von Automatisierung und technologischem Fortschritt im Allgemeinen).

52. Diese Studien lassen keinen generellen Beschäftigungs- und Lohnrückgang erkennen. Einigen Untersuchungen zufolge hat KI einen positiven Effekt auf das Lohnwachstum. Beschäftigte in hochentlohnten Tätigkeiten und/oder mit höherem Bildungsabschluss verzeichnen dabei stärkere Zuwächse.

53. Felten, Raj und Seamans (2019^[24]) untersuchen Fortschritte im KI-Bereich und Arbeitsmarkttrends auf Ebene verschiedener Berufsgruppen und US-Bundesstaaten zwischen 2010 und 2015. Sie zeigen, dass zwischen dem KI-Potenzial eines Berufs (bezogen auf die Arten von KI, bei denen in den letzten Jahren die größten Fortschritte erzielt wurden) und dem Lohnniveau ein kleiner positiver Zusammenhang besteht. Ein Zusammenhang mit dem Beschäftigungsniveau wird nicht festgestellt. Der positive Zusammenhang resultiert hauptsächlich aus Berufen, die eine große Vertrautheit mit der Nutzung von Software erfordern, sowie aus hochentlohten Tätigkeiten.²³

54. Fossen und Sorgner (2019^[32]) untersuchen anhand der gleichen Messgröße US-Paneldaten auf Personenebene aus den Jahren 2011-2018. Sie stellen fest, dass die Exponiertheit gegenüber Fortschritten im KI-Bereich mit einer höheren Beschäftigungsstabilität (gemessen an der Häufigkeit, mit der eine Person den Arbeitsplatz verliert oder wechselt) sowie einem höheren Lohnwachstum insgesamt assoziiert ist. Sie legen dieses Ergebnis dahingehend aus, dass KI menschliche Arbeit überwiegend ergänzt. Die Effekte sind bei Personen mit einem höheren formalen Bildungsniveau und mehr Berufserfahrung (die am Alter gemessen wird) sogar noch höher, vermutlich weil solche Personen besser in der Lage sind, KI zur Ergänzung ihrer eigenen Arbeitsleistung und Erhöhung ihrer Produktivität einzusetzen. Digitalisierungspotenzial (das anhand der von Frey und Osborne (2017^[26]) entwickelten Größen gemessen wird) ist Fossen und Sorgner (2019^[32]) zufolge hingegen mit einer geringeren Beschäftigungsstabilität und einem geringeren Beschäftigungswachstum assoziiert.

55. Acemoglu et al. (2020^[54]) untersuchen (ebenfalls für die Vereinigten Staaten) Veränderungen der angebotenen Stellen in verschiedenen Betrieben und Berufen zwischen 2010 und 2018 nach der Höhe ihres KI-Potenzials. Sie verwenden dazu die Messgrößen, die von Felten, Raj und Seamans, Brynjolfsson et al. sowie Webb entwickelt wurden. In Betrieben, die besonders stark von KI betroffen sind (selbst aber weder KI produzieren noch liefern), beobachten sie eine Verschiebung in der Struktur der angebotenen Stellen von Berufen mit besonders hohem KI-Potenzial hin zu Berufen mit besonders geringem KI-Potenzial. Die Effektstärke ist jedoch gering und die Ergebnisse sind nicht robust gegenüber verschiedenen Spezifikationen. Sie sehen darin einen Hinweis darauf, dass die etwaigen Produktivitäts- und/oder Komplementaritätseffekte von KI in diesen Betrieben gering sind und schwächer als die Substitutionseffekte. Sie räumen aber ein, dass es möglicherweise einfach noch zu früh ist, um einen Effekt der KI in den allgemeinen Beschäftigungsmustern (d. h. außerhalb des Markts für KI-Fachkräfte) feststellen zu

²² Dass die in dieser Literatursichtung ermittelten empirischen Studien nur Beschäftigungstrends in den Vereinigten Staaten berücksichtigen, dürfte dem Umstand zuzuschreiben sein, dass sich die verwendeten Maße des KI-Potenzials auf die US-amerikanische Datenbank O*Net zu Berufen und Aufgabenfeldern stützen.

²³ Für gering- oder mittelentlohnte Tätigkeiten war hinsichtlich des KI-Potenzials weder ein Zusammenhang mit dem Beschäftigungs- noch mit dem Lohnwachstum zu beobachten.

können. Sie beobachten insgesamt weder einen wesentlichen Effekt auf den Beschäftigungsumfang noch auf das Spektrum der Kompetenzen, die in Berufen mit KI-Potenzial erforderlich sind (ein solcher Effekt wäre an der Notwendigkeit neuer Kompetenzen oder der Veralterung zuvor üblicher Kompetenzen zu erkennen).

56. Keine dieser Studien liefert Ergebnisse, die die These eines allgemeinen Beschäftigungsrückgangs infolge der jüngsten Fortschritte im KI-Bereich stützen würden. Felten, Raj und Seamans (2019_[24]) sowie Fossen und Sorgner (2019_[32]) stellen einen positiven Effekt der KI auf das Lohnwachstum fest, der bei Beschäftigten in hochentlohnten Tätigkeiten und/oder mit höherem Bildungsabschluss stärker ausfällt. Felten, Raj und Seamans (2019_[24]) weisen darauf hin, dass die KI-Nutzung die Einkommensungleichheit verstärken könnte.

57. Diese Studien, die auf Vergangenheitsdaten beruhen, geben Aufschluss über die Beschäftigungs- und Lohneffekte der KI-Entwicklungen der letzten zehn Jahre. Es ist indessen unklar, inwieweit künftige Entwicklungen ähnliche Auswirkungen haben werden. Für die Wissenschaft, die den Effekt von komplett neuen Technologien bzw. komplett neuen Anwendungen existierender Technologien vorhersagen soll, stellt dies eine große Herausforderung dar. Das Gleiche gilt für Politikverantwortliche, die auf diesen Effekt abgestimmte Maßnahmen konzipieren möchten.

3.4. Die Erwartungen der Unternehmen in Bezug auf den Effekt von KI auf die Gesamtarbeitsnachfrage divergieren

58. Umfragedaten zeigen, dass sich die Arbeitgeber uneins darüber sind, ob KI die künftige Arbeitsnachfrage erhöhen oder senken wird. Eine Befragung unter Führungsverantwortlichen von Unternehmen, die KI eingeführt haben (McKinsey, 2019_[12]), ergab, dass für die kommenden drei Jahre mit einer Abnahme der Beschäftigtenzahl infolge von KI gerechnet wird, zeigte aber zugleich, dass KI im vorangegangenen Jahr zu Beschäftigungswachstum geführt hatte. Die Gründe für diese Einschätzung – etwa ob sie aus der Erwartung resultiert, dass die künftigen KI-Entwicklungen eine stärkere Substitution von Arbeit ermöglichen werden – wurden nicht weiter untersucht. In einer in der obersten Führungsebene von Technologieunternehmen sowie in der breiten Öffentlichkeit durchgeführten Umfrage (Edelman, 2019_[55]) äußerten zwei Drittel der befragten Führungsverantwortlichen die Ansicht, dass KI die Beschäftigung erhöhen könnte. Eine Minderheit der Befragten aus der breiten Öffentlichkeit teilte diese Ansicht, die Mehrheit war jedoch der Auffassung, dass KI auf lange Sicht mit einem Beschäftigungsanstieg einhergehen könnte. Bei Unternehmen durchgeführte Umfragen von Bessen et al. (2018_[11]) und McKinsey (2019_[12]) deuten darauf hin, dass sich der Beschäftigungseffekt der KI nach Ansicht der Unternehmen stärker in einer Verlagerung der Beschäftigungsstruktur als in einem generellen Beschäftigungsrückgang äußern wird.

59. Des Weiteren scheint Einigkeit darüber zu bestehen, dass der Effekt je nach Tätigkeitsfeld und Wirtschaftszweig unterschiedlich ausfallen wird. Die Umfragen von Bessen et al. (2018_[11]) und McKinsey (2019_[12]) ergeben, dass in den Bereichen Vertrieb und Marketing (in denen KI, wie Bessen et al. (2018_[11]) feststellen, komplementär eingesetzt werden kann) mit einem Beschäftigungswachstum gerechnet wird, während in Fertigungstätigkeiten sowie einigen Bürotätigkeiten ein Beschäftigungsrückgang erwartet wird. Laut der Umfrage von Bessen et al. (2018_[11]) sind Start-ups, die KI-Produkte an Kunden in Landwirtschaft, Fertigung, Versorgung und Verkehr verkaufen, mit deutlich größerer Wahrscheinlichkeit der Ansicht, dass ihre Produkte die Arbeitskosten verringern und/oder Routinetätigkeiten automatisieren werden.

4 Die Auswirkungen von KI auf das Tätigkeitsspektrum

60. KI wird sich voraussichtlich nicht nur auf Beschäftigung und Löhne auswirken, sondern deutlich weiterreichende Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt auslösen. Die diesen Entwicklungen zugrunde liegenden Mechanismen könnten einen tiefgreifenden Wandel der Arbeitsabläufe bewirken und das Tätigkeitsprofil der Berufe verändern. Die Nutzung von KI kann zudem zur Entstehung neuer Tätigkeiten und Berufe führen, die nur von Menschen ausgeübt werden können.

61. Die Arbeitskräfte müssen sich möglicherweise umschulen lassen oder weiterqualifizieren, um den Anforderungen geänderter Tätigkeitsprofile bzw. neuer Tätigkeiten gerecht zu werden und einen möglichen Arbeitsplatzverlust und Jobwechsel zu bewältigen. Da bestimmte Arbeitskräfte hierfür möglicherweise besser qualifiziert oder positioniert sind, kann dies die bestehende Ungleichheit verschärfen. Arbeitskräfte in hochqualifizierten Berufen sind beispielsweise häufig besser in der Lage, neue Informationen zu verarbeiten, besitzen in der Regel Kompetenzen, die nicht so leicht automatisiert werden können, und haben bessere Weiterbildungsmöglichkeiten. Außerdem können neue Ungleichheiten entstehen, wenn die Vorteile der KI den Kapitaleignern oder bestimmten „Superstarunternehmen“, anstatt den Beschäftigten zufließen.

4.1. Der Effekt von KI wird sich vor allem in einer Neuorganisation der Tätigkeiten bemerkbar machen

62. Viele Forscher*innen sind der Auffassung, dass die Auswirkungen von KI nicht nur unter dem Gesichtspunkt der durch sie möglicherweise zerstörten Arbeitsplätze, sondern auch der durch sie ausgelösten Veränderungen der Art und des Inhalts der verbleibenden Arbeitsplätze betrachtet werden sollten (OECD, 2019_[22]).²⁴ Wird dieser Aspekt ignoriert, entstehen Autor (2015_[56]) zufolge übertriebene Ängste vor Massenarbeitslosigkeit. Aus dem theoretischen Rahmen von Acemoglu und Restrepo kann in Kombination mit dem tätigkeitsbasierten Ansatz von Autor et al. geschlossen werden, dass die Einführung von KI Arbeitskräfte aus bestimmten Tätigkeiten verdrängen wird. Das muss jedoch nicht bedeuten, dass ihr Arbeitsplatz komplett wegfallen wird. Vielmehr könnte sich das Tätigkeitsprofil ihres Berufs verändern (wobei einige Tätigkeiten hinzukämen und andere entfielen). Damit würde KI die Arbeitskräfte letztlich

²⁴ Solche Transformationen sind typisch für technologischen Wandel und Automatisierung: Acemoglu und Restrepo (2018_[119]) weisen darauf hin, dass etwa die Hälfte des Beschäftigungswachstums zwischen 1980 und 2015 in Berufen erfolgte, deren Bezeichnungen oder Tätigkeitsprofile sich änderten. Im Hinblick auf die Automatisierung wurde in OECD-Studien (OECD, 2018_[122]) festgestellt, dass in 82 % der Regionen in Europa und Nordamerika in Berufen mit hohem Automatisierungsrisiko ein Beschäftigungsrückgang zu beobachten war, während in 60 % der Regionen in Berufen mit geringem Automatisierungsrisiko ein Beschäftigungszuwachs verzeichnet wurde. Dabei machten die Zuwächse einen größeren Anteil der Gesamtbeschäftigung aus als der Rückgang. Dies bestätigt die Annahme, dass die Automatisierung das Verhältnis zwischen den verschiedenen Berufen verschiebt, anstatt die Gesamtbeschäftigung zu verringern.

ergänzen. Diese Dynamik ergibt sich aus dem Zusammenspiel zwischen dem Verdrängungs-, dem Produktivitäts- und dem Wiedereinstellungseffekt, das den Gesamteffekt von KI auf die Arbeitsnachfrage (und die damit zusammenhängenden Auswirkungen auf Beschäftigung und Löhne) bestimmt.

63. Eine Studie von Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018_[25]) stützt die These der Umorganisation der Tätigkeiten. Dieser Studie zufolge können nur wenige Berufe vollständig durch maschinelles Lernen automatisiert werden. Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018_[25]) stellen vielmehr fest, dass viele Berufe sowohl Tätigkeiten enthalten, die für maschinelles Lernen gut geeignet sind, als auch solche, die weniger gut dafür geeignet sind. Sie weisen darauf hin, dass die Varianz der KI-Eignung zwischen verschiedenen Berufen niedriger ist als zwischen verschiedenen Tätigkeiten. Dies lässt darauf schließen, dass die Eignung von KI sehr stark von der jeweils ausgeübten Tätigkeit abhängt und dass diese Abhängigkeit abnimmt, wenn verschiedene Tätigkeiten in einem Beruf gebündelt sind. Brynjolfsson, Mitchell und Rock (2018_[25]) zufolge stützt dies die Annahme, wonach die Nutzung des Potenzials des maschinellen Lernens voraussetzt, dass Verfahrensabläufe umgestaltet und Tätigkeiten (durch Ent- und Neubündelung) umorganisiert werden.²⁵ Die Diskussion über die Auswirkungen von KI auf die Arbeitsmärkte sollte sich daher ihrer Ansicht nach um diese Umorganisation der Tätigkeiten drehen und nicht so sehr um die vollständige Automatisierung von Berufen.

64. Eine empirische Studie über die Reaktion des Aktienanalystenberufs auf die Einführung von KI (Grennan, J. und R. Michaely, 2019_[57]) verdeutlicht, dass KI sowohl Substitutions- als auch Komplementäreffekte erzeugen kann und zu einer Umorganisation von Tätigkeiten führt. KI erzeugt einen Substitutionseffekt, da sie Prognoseaufgaben besser löst als hochqualifizierte Sell-Side-Analyst*innen, sofern genügend Daten verfügbar sind (u. a. weil die Prognosen menschlicher Analyst*innen aufgrund von Interessenkonflikten verzerrt sein können). Grennan und Michaely (2019_[57]) stellen fest, dass Analyst*innen, die sich mit Aktien befassen, für die sehr viele Daten vorliegen (und die deshalb besonders gut für KI-basierte Prognosen geeignet sind), den Beruf mit größerer Wahrscheinlichkeit verlassen. Die Analyst*innen, die im Beruf bleiben, verlagern den Schwerpunkt ihrer Arbeit dabei auf die Art von Aktien, die weniger gut für KI-basierte Prognosen geeignet sind. Damit kommt es zu einem weiteren Substitutionseffekt auf Ebene der Tätigkeiten. Die im Beruf bleibenden Analyst*innen nehmen häufiger an Konferenzen mit Geschäftsleitungen teil, was darauf hindeutet, dass sie durch den Einsatz von KI mehr Zeit haben, ihre interpersonellen Kompetenzen zu nutzen, um „weiche“ Informationen über die Aktien zu sammeln. Dies stellt nach Ansicht von Grennan und Michaely (2019_[57]) eine Umorganisation von Tätigkeiten dar, wobei sich in der neuen Fokussierung der Analyst*innen auf Tätigkeiten, die KI nicht ausführen kann, die Komplementarität zwischen KI und hochqualifizierten Arbeitskräften ausdrückt.²⁶

65. Ernst, Merola und Samaan (2018_[58]) legen dar, dass die Entscheidung, Tätigkeiten umzuorganisieren, teilweise von der Fähigkeit der Arbeitskräfte abhängt, sich an die neu strukturierten Arbeitsplätze anzupassen. Diese Entscheidung liegt in erster Linie in der Verantwortung der Geschäftsführung des Unternehmens. Wichtige Aspekte sind dabei die Profitabilität der Umorganisation,²⁷ die Bereitschaft des Unternehmens, die Arbeitskräfte in dieser Übergangsphase zu unterstützen (z. B. durch Weiterbildung),

²⁵ Brynjolfsson, Rock und Syverson (2017_[6]) legen dar, dass Betriebe, die umfassende Unternehmensplanungssysteme einführen, fast immer ein Vielfaches für die Umgestaltung von Verfahrensabläufen und Schulungen als für Hardware und Software ausgeben. Dabei können auch erhebliche Änderungen der Einstellungs- und sonstigen Personalverfahren nötig sein, damit die Belegschaft den neuen Anforderungen gerecht wird.

²⁶ Grennan und Michaely (2019_[57]) stellen außerdem fest, dass die Genauigkeit der von den Aktienanalyst*innen vorgelegten Gewinnprognosen in Bezug auf die Aktien, die besser für KI geeignet sind, abnimmt. Dieser Rückgang wird aber auf Kompositionseffekte zurückgeführt, da es die erfolgreichereren Aktienanalyst*innen sind, die den Beruf verlassen.

²⁷ Dies hängt wiederum von den Auswirkungen auf die Nachfrage nach den mit diesen Arbeitsplätzen verbundenen Produkten und Dienstleistungen ab (unter Bezugnahme auf Bessen (2018_[118])).

und institutionelle Faktoren wie die im betreffenden Land verfügbare Weiterbildungs- und Arbeitsvermittlungsinfrastruktur, Steueranreize und Sozialleistungen (Ernst, E., R. Merola und D. Samaan, 2018^[58]) unter Zitierung von Sengenberger (1987^[59]) und Albertini et al. (2017^[60]).

4.2. KI führt auch zur Entstehung neuer Tätigkeiten

66. Wie im vorhergehenden Kapitel dargelegt, ist das Potenzial von KI, arbeitsintensive Tätigkeiten zu schaffen (d. h. Tätigkeiten, die nur der Mensch ausführen kann), ein entscheidender Anpassungsmechanismus, der dem Verdrängungseffekt entgegenwirken und sicherstellen kann, dass die mit KI verbundenen Produktivitätsgewinne mit den Beschäftigten geteilt werden. Durch KI entstehen unmittelbar Arbeitsplätze in völlig neuen Berufen und Bereichen, die mit der Entwicklung und Einführung von KI zusammenhängen. Das reicht jedoch nicht aus, um positive Arbeitsmarktergebnisse sicherzustellen. Dazu muss KI, wie in Abschnitt 3.2.2 dargelegt, noch andere neue hochproduktive Tätigkeiten für menschliche Arbeitskräfte entstehen lassen. Dies kann über KI-gestützte Innovationen und von der KI-Branche ausgehende Ausstrahlungseffekte geschehen.

4.2.1. Durch die Entwicklung und Nutzung von KI entstehen neue Tätigkeiten für Menschen

67. Wie bei anderen Technologien entstehen durch die Verbreitung von KI schon allein deshalb Arbeitsplätze, weil KI von Menschen weiterentwickelt, gewartet, angewendet und reguliert werden muss (PwC, 2018^[43]). In einer Studie über Unternehmen, die KI- und ML-Systeme bereits nutzen oder testen, haben (Wilson, H., P. Daugherty und N. Morini-Bianzino, 2017^[61]) drei Tätigkeitsbereiche ermittelt, die dank der Verbreitung von KI neu entstehen und nur von Menschen wahrgenommen werden können:

- *Trainieren*: KI-Systeme trainieren, um z. B. die Fehlerrate maschineller Übersetzungen zu reduzieren, Daten in einem Trainingsdatensatz zu taggen oder einem Chatbot menschliches Verhalten beizubringen oder die Kultur eines Unternehmens zu vermitteln
- *Erklären*: die von KI-Systemen generierten Ergebnisse interpretieren, um die Rechenschaftslegung zu verbessern – z. B. indem erklärt wird, wie ein KI-System zu einer bestimmten Entscheidung gekommen ist – oder die Verantwortlichen über angemessene Einsatzformen von KI im Unternehmen zu informieren
- *Unterstützen*: die Arbeit von KI-Systemen überwachen, um sicherzustellen, dass sie wie beabsichtigt funktionieren, z. B. indem Systeme zur Auswahl geeigneter Bewerbungen auf Biases geprüft werden oder Inhaltsfilter in ML-Systemen für Chatbots installiert werden

68. Bei bestimmten KI-Systemen ist klar, dass menschliche Eingriffe bei der Entwicklung und Nutzung notwendig sind. KI-gestützte Sentiment-Analyse-Tools benötigen beispielsweise Training und Unterstützung, um korrekte Ergebnisse zu produzieren. Zu erkennen, was Menschen wirklich sagen wollen, wenn sie Feedback geben, setzt z. B. menschliche Kompetenzen voraus (Ultimate Software, 2018^[62]). Sentiment-Analyse-Tools können Inhalte zwar als „gut“, „neutral“ oder „schlecht“ einordnen, sie dürften jedoch auf menschliche Unterstützung angewiesen sein, um Sarkasmus zu erkennen.

69. Die Nutzung von KI kann auch zur Entstehung völlig neuer Dienstleistungen führen. Guszczka et al. (2018^[63]) gehen beispielsweise davon aus, dass sich mit der zunehmenden Regulierung der künstlichen Intelligenz eine völlig neue Branche entwickeln könnte: Beim Algorithmus-Auditing sollen unabhängige Prüfer*innen sicherstellen, dass Rechenschaft darüber abgelegt wird, was in der „Black Box“ der KI vor sich geht. Guszczka et al. (2018^[63]) zufolge sollte die externe Algorithmusprüfung ein eigenständiger Beruf werden – mit Befähigungsnachweisen, Berufsstandards, Disziplinarverfahren, Studiengängen, Weiterbildungen, Ethikschulungen, Regulierung und professionellen Herangehensweisen. Es könnten neue unabhängige Gremien geschaffen werden, die Standards für Design, Berichterstattung und Verhalten in Bezug auf die KI-Systeme erörtern und festlegen, die von Unternehmen und Organisationen entwickelt und eingeführt werden.

4.2.2. Um positive Arbeitsmarktergebnisse zu sichern, müssen neue von KI unabhängige Tätigkeiten geschaffen werden

70. Acemoglu und Restrepo (2020_[49]) weisen darauf hin, dass die in der KI-Branche geschaffenen Arbeitsplätze nicht ausreichen, um die Arbeitsplatzverluste auszugleichen, zu denen es kommen würde, wenn in allen anderen Branchen Arbeitsplätze durch KI automatisiert würden. Eine solche Situation würde zu großen Ungleichheiten zwischen den verschiedenen Sektoren führen und Arbeitsplatzwechsel erschweren. Acemoglu und Restrepo (2020_[49]) zufolge müssen die geschaffenen neuen Tätigkeiten über den KI-Bereich hinausgehen, um positive wirtschaftliche und soziale Entwicklungen zu ermöglichen. Sie geben einige Beispiele für KI-Anwendungen, die neue hochproduktive Tätigkeiten für menschliche Arbeitskräfte entstehen lassen.

- Individualisierter Unterricht: KI könnte Echtzeitdaten nutzen, um die individuellen Lernstile und Problembereiche der Schüler*innen zu erfassen und anschließend Unterrichtsmethoden zu empfehlen, die auf einzelne Schüler*innen oder Schülergruppen zugeschnitten sind. Dadurch könnte die Produktivität des Unterrichts gesteigert werden, was der Gesellschaft insgesamt zugutekäme. Außerdem könnte sich dadurch die Nachfrage nach Lehrkräften mit vielfältigen Kompetenzen für den individualisierten Unterricht erhöhen.
- Hochpräzisionsfertigung: Durch den Einsatz KI-gestützter virtueller Realität in den Fertigungsverfahren könnten Menschen und Roboter sicher über interaktive Schnittstellen zusammenarbeiten, die die menschliche Präzision und Wahrnehmung steigern.

71. Darüber hinaus besitzt KI einige Merkmale, die noch mehr Arbeitsplätze schaffen könnten als andere technologische Fortschritte der jüngsten Zeit. Insbesondere hat sie das Potenzial, ihrerseits weitere Innovationen und wissenschaftliche Durchbrüche zu ermöglichen und völlig neue Branchen entstehen zu lassen (OECD, 2018_[64]; Gartner, 2017_[65]).²⁸ Wie viele Arbeitsplätze geschaffen werden könnten, lässt sich genauso schwer (oder sogar noch schwerer) vorhersagen wie der Umfang der möglichen künftigen Arbeitsplatzverluste, vor allem wenn die neu entstehenden Arbeitsplätze von weiteren technologischen Durchbrüchen oder völlig neuen Technologieanwendungen abhängen. Einer Studie zufolge könnte KI jedoch bis 2025 weltweit zu einem Nettozuwachs von zwei Millionen Arbeitsplätzen führen (Gartner, 2017_[65]).

72. Der indirekte Effekt der Entwicklung der KI-Industrie auf die Beschäftigungsschaffung könnte noch größer sein. Empirische Arbeiten von Moretti (2010_[66]; 2012_[67]) zeigen, dass die Entstehung von Arbeitsplätzen im IKT-Sektor große Multiplikatoreffekte auf den lokalen Arbeitsmärkten haben kann: Für jeden zusätzlichen Arbeitsplatz in einem Hightech-Unternehmen entstehen am selben Ort fünf weitere Arbeitsplätze außerhalb des Hochtechnologiesektors.

4.3. Die durch KI verursachten Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt können Umschulungen oder Höherqualifizierungen erforderlich machen

73. Die Arbeitskräfte müssen sich möglicherweise umschulen lassen oder weiterqualifizieren, um den Anforderungen geänderter Tätigkeitsprofile bzw. neuer Tätigkeiten gerecht zu werden und einen möglichen Arbeitsplatzverlust und Jobwechsel zu bewältigen. Einige von ihnen werden KI-bezogene Kompetenzen erwerben, um berufliche Chancen im Bereich der KI-Entwicklung und -Anwendung zu nutzen. Allerdings erfordern nicht alle Arbeitsplätze, bei denen menschliche Arbeitskräfte durch KI ergänzt werden, spezialisierte KI-Kompetenzen. Einige dieser Arbeitsplätze setzen Kompetenzen in Bereichen voraus, für die KI weniger gut geeignet ist. Dazu zählen beispielsweise kreative und soziale Intelligenz, schlussfolgerndes Denken und kritisches Denken.

²⁸ Um das Ausmaß der möglichen Auswirkungen zu verdeutlichen, verweist die OECD (2018_[64]) auf die Entdeckung der DNA-Struktur in den 1950er Jahren, die zu einer Revolution in der industriellen Biotechnologie führte und enormen wirtschaftlichen Wert schuf (der Weltmarkt für rekombinante DNA-Technologie wird auf rd. 500 Mrd. USD geschätzt).

4.3.1. Die Nachfrage nach KI-bezogenen Kompetenzen nimmt zu

74. Für die Entwicklung und Nutzung von KI sind verschiedene Kompetenzprofile erforderlich. Der Wagniskapitalfonds MMC Ventures (Kelnar, 2019^[68]) stellte in einer Studie zum oberen Ende des KI-Fachkräftemarkts fest, dass in KI-Berufen neben einem Dokortitel in Mathematik, Statistik oder Programmieren zunehmend branchenspezifische ingenieurwissenschaftliche und betriebswirtschaftliche Kompetenzen erwartet werden. Dadurch wird das potenzielle Angebot an KI-Fachkräften weiter eingeschränkt. Der Studie zufolge hat sich die Nachfrage nach KI-Fachkräften zwischen 2016 und 2018 fast verdoppelt. Auf jede KI-Fachkraft kämen zwei offene Stellen, was auf einen Fachkräftemangel hinweise. Zugleich wachse aber auch das Angebot, weil die Universitäten und Unternehmen zunehmend die erforderliche Ausbildung anbieten und KI-Unternehmen kostenlose Bildungsressourcen bereitstellen.

75. Die Entwicklung neuer KI-Konzepte und -Techniken dürfte die Domäne von promovierten Fachkräften bleiben. Für die Integration dieser Konzepte in Technologien und Systeme wird jedoch ein viel breiteres Spektrum an Fachkräften erforderlich sein (Toney, A. und M. Flagg, 2020^[69]). Toney und Flagg (2020^[69]) gehen davon aus, dass die Nachfrage nach KI-Fachkräften ohne Dokortitel (beispielsweise Software-Ingenieur*innen und Datenbank-Architekt*innen) noch schneller steigen wird als die nach promovierten Fachkräften. Toney und Flagg (2020^[69]) zeigen, dass 80 % der KI-bezogenen Stellenausschreibungen mindestens einen Bachelor-Abschluss erfordern. In mehr als der Hälfte dieser Stellenangebote ist nicht angegeben, dass ein höherer Abschluss bevorzugt wird.

76. KI-Kompetenzen scheinen mit einem Lohnvorteil verbunden zu sein. Aus einer Analyse geht hervor, dass Stellenangebote, in denen KI-Kompetenzen verlangt werden, selbst nach Berücksichtigung nicht erfasster Unternehmensmerkmale im Durchschnitt ein um 11 % höheres Gehalt bieten als Stellenangebote ohne solche Anforderungen. Im Vergleich zu Software-Kompetenzen beträgt der Lohnvorteil 6 % (Alekseeva et al., 2019^[70]).

77. Der Bedarf eines Unternehmens an KI-Fachkräften wird wahrscheinlich davon abhängen, ob das Unternehmen KI intern entwickelt oder nur ein KI-Produkt kauft und nutzt. Eine wichtige Rolle dürfte dabei auch spielen, welche Entscheidungen in Bezug auf Schulungen, Outsourcing und Personalgewinnung getroffen werden. Einer Unternehmensumfrage (Ransbotham et al., 2019^[71]) zufolge investieren Unternehmen in der Regel intern in KI-Fachkräfte (anstatt auf externe Anbieter zurückzugreifen) und holen zusätzlich von außen erfahrene KI-Fachkräfte für technische Führungspositionen ins Unternehmen. Sie bilden ihre Mitarbeiter*innen für die Nutzung von KI weiter, um so Wert aus KI schöpfen zu können. In einer anderen Erhebung (Bessen et al., 2018^[11]) gaben KI-Start-ups an, dass ein Großteil ihrer Produkte bei der Belegschaft ihrer Kunden nur allgemeine IT-Kenntnisse voraussetze und dass die Beschäftigten, die KI nutzen (und durch KI ergänzt werden), nur in geringem Umfang besondere IT-Kompetenzen oder -Schulungen benötigten. Eine Erhebung (Accenture, 2018^[35]), in der sowohl Arbeitgeber als auch Beschäftigte befragt wurden, deutet darauf hin, dass die Arbeitgeber die Bereitschaft ihrer Beschäftigten, sich die für die Arbeit mit intelligenten Technologien erforderlichen Kompetenzen anzueignen, im Allgemeinen unterschätzen. Die meisten befragten Beschäftigten sehen die Auswirkungen von KI auf ihre Arbeit sogar positiv und halten es für wichtig, ihre eigenen Kompetenzen weiterzuentwickeln (hochqualifizierte Arbeitskräfte sind dabei positiver eingestellt als geringqualifizierte).

4.3.2. Es gibt menschliche Kompetenzen, die KI nicht replizieren kann

78. Nicht alle beim Übergang zu KI entstehenden neuen Arbeitsplätze erfordern KI-bezogene Kompetenzen. Es gibt menschliche Kompetenzen, die KI nicht replizieren kann. Das bedeutet, dass bestimmte KI-Anwendungen menschliches Eingreifen erfordern.

79. Eine Analyse (Sage-Gavin, E., M. Vazirani und F. Hintermann, 2019^[72]) auf Basis der O*Net-Datenbank des US-amerikanischen Arbeitsministeriums, die Fähigkeiten, Kompetenzen, Tätigkeiten und Arbeitsstile mit Berufen verknüpft, zeigt, dass Kompetenzen wie Kreativität, komplexes Schlussfolgern

sowie soziale und emotionale Intelligenz in vielen Berufen immer wichtiger werden. Laut dem OECD-Projekt Future of Education and Skills 2030 (OECD, 2019_[73]) sollten viele dieser Kompetenzen besonders gefördert werden, weil der Mensch der KI in diesen Bereichen (zumindest zurzeit) überlegen ist. Dazu gehören beispielsweise Kreativität und Originalität,²⁹ komplexe soziale Interaktion und Umgang mit Unsicherheit. Die Studie zu diesem Projekt weist darauf hin, dass Menschen besser mit Unsicherheit umgehen können als KI, weil sie in der Lage sind, ihre Überzeugungen und Einschätzungen über das, was in der Welt geschieht, zu ändern und sich von alten Überzeugungen zu trennen, wenn sich diese als unzutreffend, irrelevant oder gar schädlich erweisen. KI kann bestimmte Aufgaben effizient wahrnehmen und effektiv auf Komplexität und einige Aspekte von Unsicherheit reagieren. Wenn die Ziele und der Kontext der Aufgabe jedoch unklar sind oder sich ändern, kann das System zusammenbrechen. In dem OECD-Bericht wird auch betont, wie wichtig die Anpassungsfähigkeit des lebenslangen Lernens an die sich ändernden Anforderungen des Arbeitsmarkts ist (wobei allerdings festzustellen ist, dass geringqualifizierte Personen und stark von Automatisierung bedrohte Arbeitskräfte sich mit deutlich geringerer Wahrscheinlichkeit weiterbilden als höher qualifizierte (OECD, 2019_[22])).

80. Diese verschiedenen Fähigkeiten helfen den Arbeitskräften nicht nur, neue Technologien wie KI zu nutzen, sondern ermöglichen es ihnen auch, KI so zu nutzen, dass ebendiese Fähigkeiten dadurch verstärkt werden. Auf diese Weise kann die Mensch-Maschine-Interaktion mehr sein als nur die Summe ihrer einzelnen Bestandteile (Sage-Gavin, E., M. Vazirani und F. Hintermann, 2019_[72]). Wenn also die Kompetenzen gestärkt werden, die KI nicht nachahmen kann, kann KI die menschliche Arbeitskraft ergänzen (OECD, 2019_[73]).

4.4. Bestimmten Arbeitskräften wird es besser gelingen, sich an den Wandel anzupassen

81. Die im vorigen Kapitel geschilderte Evidenz zeigt, dass einige hochqualifizierte Berufe, die nicht-routinemäßige kognitive Tätigkeiten umfassen, zu den Berufen mit dem größten KI-Potenzial gehören. Das bedeutet, dass die Arbeit dieser Berufsgruppen mit größerer Wahrscheinlichkeit durch KI ersetzt, ergänzt und/oder verändert wird. Wenn es diesen Beschäftigten (z. B. Labortechniker*innen, Ingenieur*innen und Versicherungsmathematiker*innen) gelingt, sich an diese Veränderungen anzupassen, können sie vom Übergang zu KI profitieren.

82. Die in Abschnitt 3.3 (Felten, E., M. Raj und R. Seamans, 2019_[24]; Fossen, F. und A. Sorgner, 2019_[32]) aufgeführten empirischen Studien zeigen, dass die Einführung von KI bei Personen mit höherem Bildungsniveau in besser bezahlten Berufen einen stärkeren positiven Lohneffekt hat. Dies deutet darauf hin, dass diese Personen besonders gut in der Lage sind, KI als Ergänzung zu nutzen. Zugleich stellen Acemoglu et al. (2020_[54]) fest, dass die Wahrscheinlichkeit, durch KI ersetzt zu werden, für Personen in geringer entlohnten Beschäftigungen größer ist. Fossen und Sorgner (2019_[32]) haben darüber hinaus festgestellt, dass die positiven Lohneffekte bei älteren, erfahreneren Arbeitskräften stärker waren, was darauf hindeutet, dass diese Beschäftigten besser in der Lage sind, KI zur Ergänzung ihrer eigenen Arbeitsleistung und Erhöhung ihrer Produktivität einzusetzen. Sollte dies zutreffen, könnte die Einführung von KI die Ungleichheit verstärken.

83. Fossen, F. und A. Sorgner (2019_[32]) weisen darauf hin, dass sich Arbeitskräfte in hochqualifizierten Berufen möglicherweise besser an diese Veränderungen anpassen können, weil sie eher in der Lage sind, neue Informationen zu verarbeiten und sich an neue Technologien anzupassen. Außerdem besitzen sie in der Regel Kompetenzen, die nicht leicht automatisiert werden können, wie kreative und

²⁹ Außerdem ist angesichts der Formbarkeit und des breiten Anwendungsbereichs von KI die Kreativität und Phantasie ihrer menschlichen Nutzer*innen und Designer*innen entscheidend, um ihr Potenzial voll zu auszuschöpfen (Berkowitz, M. und K. Miller, 2018_[124]).

soziale Intelligenz, schlussfolgerndes Denken und kritisches Denken. Fossen und Sorgner (2019^[32]) gehen davon aus, dass Arbeitskräfte mit geringerer Wahrscheinlichkeit durch KI ersetzt werden können, wenn es sich bei einem großen Teil ihrer Aufgaben um nicht-routinemäßige kognitive Tätigkeiten handelt, was ihrer Meinung nach bei hochqualifizierten Berufen häufiger der Fall ist.³⁰

84. Zudem wird darauf hingewiesen, dass KI-bedingte Anpassungen in White-Collar-Berufen möglicherweise langsamer vonstattengehen als automatisierungsbedingte Anpassungen in Blue-Collar-Berufen (Wright, 2019^[74]). Dies liegt daran, dass Abläufe im Berichts- und Kontrollwesen angepasst werden müssen, Beziehungen und sachkundigen Beurteilungen in komplexen Entscheidungsprozessen ein hoher Wert beigemessen wird und es unwahrscheinlich ist, dass eine ganze Abteilung (z. B. die Buchhaltung) auf einmal entlassen wird. Als Beispiel wird Zurich Insurance genannt, wo ein Pilotprojekt durchgeführt wurde, um ML bei der Beurteilung von Versicherungsansprüchen bei Autounfällen oder Einbrüchen einzusetzen. Das Unternehmen beschloss letztlich, das Pilotprojekt nicht komplett umzusetzen, weil zu häufig Menschen eingreifen mussten, um Entscheidungen des Computers zu korrigieren.

85. Einige gehen davon aus, dass KI-Fortschritte in den Bereichen Problemlösen, logisches Schlussfolgern und Wahrnehmung die Entwicklung spezialisierter KI-Tools für Nichtfachleute ermöglichen werden. Dadurch könnten geringqualifizierte Arbeitskräfte ergänzt und hochqualifizierte Arbeitskräfte ersetzt werden. Das gilt z. B. für Systeme, die in der Landwirtschaft den optimalen Zeitpunkt für die Aussaat ermitteln oder im Bausektor Wartungsleistungen planen (Ernst, E., R. Merola und D. Samaan, 2018^[58]). Ein ähnliches Beispiel sind KI-gestützte Schulungen in Fertigungsprozessen vor Ort an den Produktionsstätten mit Virtual-Reality- oder Augmented-Reality-Anwendungen auf Datenbrillen oder Tablets (Moore, 2019^[75]). Der Einsatz solcher Geräte bedeutet, dass die Arbeitskräfte weniger Vorwissen oder Ausbildung benötigen. Moore weist jedoch darauf hin, dass die Arbeitskräfte dadurch weniger langfristige Kompetenzen erwerben und sich weniger spezialisieren.

86. Die Anpassungsfähigkeit älterer Arbeitskräfte wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Einerseits ist hinreichend belegt, dass der technologische Wandel ältere Arbeitskräfte benachteiligt (Behaghel, Caroli und Roger (2011^[76]) und andere Studien). Webb (2020^[23]) weist darauf hin, dass es älteren Arbeitskräften wahrscheinlich schwerer fällt, sich an KI-bedingte Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt anzupassen. Sie sind in der Regel weniger mobil und haben weniger Anreize, sich umschulen zu lassen (weil sie weniger Berufsjahre vor sich haben). Andererseits geht Webb davon aus, dass der Effekt von KI auf die Beschäftigung eher bei den Zugängen als bei den Abgängen spürbar sein dürfte (dass also weniger junge Arbeitskräfte den betreffenden Beruf ergreifen, anstatt dass mehr ältere Arbeitskräfte aus diesem Beruf ausscheiden). Der Effekt würde demnach vor allem jüngere Arbeitskräfte treffen.

4.5. Kommt KI vor allem Kapitaleignern und Superstarunternehmen zugute?

87. So wie Veränderungen der relativen Nachfrage nach bestimmten Gruppen von Arbeitskräften möglicherweise zu Ungleichheit führen, kann dies auch für Veränderungen der relativen Nachfrage nach Produktionsfaktoren der Fall sein. Wenn KI in einem Produktionsprozess Arbeitskräfte ersetzt und andere Produktionsfaktoren (wie Boden oder Kapital) ergänzt, fallen die Lohneinbußen der Arbeitskräfte den Land- und Kapitalbesitzern als eine Art leistungsloses Zusatzeinkommen (*windfall profit*) zu (Korinek, A. und J. Stiglitz, 2017^[77]).

³⁰ Agrawal, Gans und Goldfarb (2019^[5]) stellen ähnliche Überlegungen im Hinblick auf die Auswirkungen von maschinellem Lernen an, wobei sie diesen Effekt allerdings nicht mit dem Kompetenzniveau in Verbindung setzen. Ausschlaggebend ist für sie stattdessen, inwieweit Vorhersage zu den Kernkompetenzen des Berufs gehört. Im Personalwesen kann die Kompetenz, Lebensläufe in Einstellungsverfahren zu sichten, ihrer Meinung nach an Bedeutung verlieren. Chirurg*innen, die bei der Operation von Tumoren KI-gestützte Bildgebung einsetzen, können ihre Kompetenzen dagegen optimieren.

88. Korinek und Stiglitz (2017_[77]) verweisen dabei noch auf einen weiteren Kanal, durch den KI (ebenso wie andere Technologien) die Ungleichheit verstärken kann. Die mit Technologien verbundenen Exklusivrechte (z. B. geistige Eigentumsrechte) können Innovatoren in die Lage versetzen, in einer „Winner takes most“-Dynamik³¹ Marktmacht aufzubauen (u. U. so sehr, dass sie wie vorstehend beschrieben einen „Superstarstatus“ erreichen). Diese Marktmacht können sie dann nutzen, um Innovationsrenten zu erzielen, die über die Innovationskosten hinausgehen. Dies würde nicht nur Ungleichheit zwischen den verschiedenen Innovatoren,³² sondern auch zwischen Innovationsträgern und Arbeitskräften schaffen.

89. Da der technische Fortschritt die Produktivität steigern und das Wirtschaftswachstum antreiben kann, wäre es sinnvoll zu untersuchen, wie KI so eingesetzt werden kann, dass die Ungleichheiten und die gesellschaftlichen Widerstände gegen technische Fortschritte nicht steigen, sondern vielmehr die Teilhabe erhöht wird. Korinek und Stiglitz (2017_[77]) untersuchen, wie groß der Umverteilungsspielraum ist, wenn KI als eine Technologie genutzt wird, die Arbeitskräfte ersetzt und die so Gewinner und Verlierer schafft (über die oben beschriebenen Kanäle). Sie stellen fest, dass Umverteilung³³ (z. B. über Steuern auf den Kapitaleinsatz) eine Pareto-Verbesserung herbeiführen kann, bei der alle Beteiligten durch KI besser gestellt sind (selbst im Fall von *Singularität*). Voraussetzung ist dabei, dass die Kosten der Umverteilung nicht zu hoch sind. Sie weisen außerdem darauf hin, dass eine Technologie, die für die*den Einzelne*n optimal ist, gesellschaftlich durchaus nicht optimal sein kann, und dass daher Eingriffe in den Innovationsprozess sinnvoll sein können, um die Wahrscheinlichkeit zu verringern, dass Arbeitskräfte durch KI ersetzt werden.

³¹ Schwellnus et al. (2018_[40]) belegen die Existenz des „Winner takes most“-Effekts, schreiben ihn allerdings nicht wettbewerbsschädigenden Kräften, sondern technologischer Dynamik zu.

³² Ungleichheiten können auch zwischen den Beschäftigten von Superstarunternehmen und denen von Unternehmen entstehen, die Schwierigkeiten haben, mit der Digitalisierung Schritt zu halten (OECD, 2019_[22]).

³³ Korinek und Stiglitz (2017_[77]) schlagen vor, eine Umverteilung durch eine Steuer auf Kapitalinputs zu erreichen, die *windfall profits* generieren (insbesondere auf Kapitalformen, bei denen das Angebot feststehend ist, wie bei Boden oder Energie, da der Effekt hier weniger verzerrend wäre). Wenn eine derartige Umverteilung nicht möglich ist, schlagen Korinek und Stiglitz (2017_[77]) vor, die Laufzeit des Patentschutzes zu kürzen. Dies würde nach Ablauf des Patentschutzes zu niedrigeren Preisen für Verbraucher*innen und Arbeitskräfte und folglich zu einer gewissen Umverteilung der Innovationsrenten führen.

5 Die Auswirkungen von KI auf das Arbeitsumfeld

90. Menschen arbeiten nicht nur, um Geld zu verdienen. Arbeit ermöglicht ihnen auch, ihre Ambitionen zu verwirklichen, einen positiven Beitrag zur Gesellschaft zu leisten und ihr Selbstwertgefühl zu stärken. Arbeit kann die Gesundheit fördern oder ihr schaden, sie kann sinnstiftend oder sinnentleert sein. Dies hängt u. a. von den zu erledigenden Aufgaben, der Arbeitsorganisation und den Managementmethoden ab.³⁴ KI dürfte das Arbeitsumfeld vieler Menschen erheblich verändern. Dies betrifft u. a. die Arbeitsinhalte und die Arbeitsgestaltung, die Interaktion der Arbeitskräfte untereinander und mit Maschinen sowie die Methoden, mit denen Arbeitseinsatz und Produktivität gemessen werden. Die Nutzung von KI-Technologien am Arbeitsplatz befindet sich noch in ihren Anfängen. Es ist noch zu früh zu sagen, ob sie das Arbeitsumfeld insgesamt verbessern oder verschlechtern wird und inwieweit sich ihre Auswirkungen je nach Art der eingesetzten KI, nach Beschäftigtenkategorie oder nach Art der Nutzung unterscheiden werden.

91. Die Qualität des Arbeitsumfelds ist neben dem Verdienst und der Beschäftigungssicherheit eines der entscheidenden Elemente der Beschäftigungsqualität (OECD, 2018_[78]). Sie resultiert aus dem Zusammenspiel der *Arbeitsanforderungen* – körperliche Risikofaktoren, emotionale Anforderungen und Arbeitsintensität – einerseits und der *Arbeitsressourcen* – Arbeitsorganisation, Arbeitsautonomie, Lerngelegenheiten, Arbeitsklima und gute Managementpraktiken – andererseits (OECD, 2017_[79]).

92. In diesem Kapitel wird zunächst untersucht, wie die Einführung von KI und die damit verbundene Umorganisation der Tätigkeiten das Arbeitsumfeld verbessern oder verschlechtern kann, indem sie die Arbeit sicherer und sinnstiftender oder umgekehrt gesundheitsschädlicher und unbefriedigender macht. Anschließend wird erörtert, wie KI-Technologien das Zusammenwirken von Mensch und Maschine durch die Nutzung von kooperativen Robotern bzw. Kobotern verändern können.

93. Ebenfalls untersucht werden die vielfältigen möglichen Anwendungen von KI in den Bereichen Personalmanagement und Personalgewinnung. KI kann Beschäftigten beispielsweise bei ihrer Laufbahnentwicklung helfen, Manager*innen ihre Arbeit erleichtern und Berufsberatung und Weiterbildung unterstützen. An diesen Anwendungsmöglichkeiten zeigt sich, dass KI menschliche Fähigkeiten ergänzen und Managementpraktiken sowie Methoden der Karriereentwicklung verbessern kann. Die gleichen Merkmale, die KI-Algorithmen hier so erfolgreich machen, können die Qualität des Arbeitsumfelds aber zugleich auf andere Weise bzw. für andere Beschäftigte verschlechtern und so neue Probleme entstehen lassen oder bestehende Probleme vergrößern. In diesem Kapitel wird erörtert, wie die Erfassung und Nutzung enormer Datenmengen sowie die auf komplexe innere Abläufe zurückzuführende fehlende Transparenz und geringe Nachvollziehbarkeit Stress verursachen und die psychosozialen Risiken am Arbeitsplatz erhöhen können. Selbst KI-Technologien, die das Potenzial haben, das Arbeitsumfeld zu verbessern, können den

³⁴ Dies wurde in Arbeiten zu verschiedenen Studienbereichen hinreichend dokumentiert, so z. B. in arbeitsmedizinischen Untersuchungen, in denen große Risiken für die körperliche und psychische Gesundheit aufgezeigt wurden, in arbeits- und verhaltenspsychologischen Studien sowie in Personalmanagementstudien, die unter der Prämisse, dass Menschen grundsätzlich produktiver sind, wenn sie ihre Arbeit und ihren Arbeitsplatz mögen, einen positiveren Ansatz verfolgen (Saint-Martin, A., H. Inanc und C. Prinz, 2018_[82]).

gegenteiligen Effekt haben, wenn sie falsch genutzt oder zulasten anderer Aspekte nur zur Produktivitätssteigerung eingesetzt werden (auch wenn dafür überzeugende wirtschaftliche Argumente sprechen).

5.1. Ob die mit der Nutzung von KI einhergehende Arbeitsumorganisation das Arbeitsumfeld verbessert, ist noch offen

94. Mit am direktesten kann sich die Nutzung von KI auf die Qualität des Arbeitsumfelds auswirken, indem sie die Automatisierung von Tätigkeiten ermöglicht und so das Tätigkeitsprofil von Berufen verändert. Wenn KI die Automatisierung gefahrenträchtiger, repetitiver oder entwürdigender Tätigkeiten fördert und den Beschäftigten die Möglichkeit gibt, stattdessen sichereren und befriedigenderen Tätigkeiten nachzugehen, kann sie das Arbeitsumfeld verbessern. Hat die Arbeitsumorganisation hingegen zur Folge, dass den Beschäftigten sichere und erfüllende Tätigkeiten weggenommen werden, verschlechtert sich das Arbeitsumfeld.

95. Eine Beschäftigtenumfrage aus Japan (Yamamoto, 2019^[80]) ergab, dass die durch die KI-Einführung bedingte Arbeitsumorganisation sowohl mit einer größeren Arbeitszufriedenheit als auch mit mehr Stress verbunden ist. Dieser Studie zufolge ermöglicht KI den Beschäftigten, sich auf die komplexeren Tätigkeiten zu konzentrieren, die nur von Menschen ausgeführt werden können. Diese komplexeren Tätigkeiten können das Stresslevel erhöhen, zugleich aber für mehr Zufriedenheit mit der geleisteten Arbeit sorgen.

96. Organisationen für Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit haben bereits das Potenzial von Robotern erkannt, Beschäftigte in körperlich anstrengenden Tätigkeiten oder gefahrenträchtigen Arbeitsumgebungen (z. B. bei der Arbeit mit Chemikalien oder in unergonomischen Positionen) zu ersetzen und so das Risiko von Arbeitsunfällen und Gesundheitsschädigungen am Arbeitsplatz zu reduzieren (EU-OSHA, 2017^[81]). Eine neue Generation von Robotern, die statt auf herkömmlichen Programmierungsalgorithmen auf KI-Systemen basiert, eröffnet hier noch größere Möglichkeiten. Obwohl viele Tätigkeiten, die zuvor harte körperliche Arbeit erforderten, inzwischen automatisiert wurden, sind immer noch viele Menschen Gefahren für Leib und Leben am Arbeitsplatz ausgesetzt (Saint-Martin, A., H. Inanc und C. Prinz, 2018^[82]). Besonders besorgniserregend ist das hohe Risiko von Muskel-Skelett-Verletzungen in Berufen des Fertigungs- und Baugewerbes, aber auch in zahlreichen Dienstleistungstätigkeiten wie Gesundheitspflege und Einzelhandel.

97. In Fertigungs- und Lagerumgebungen kann KI neue Lösungen bieten, aber auch neue Risiken mit sich bringen. KI-gestützte intelligente Roboter können ein wesentlich breiteres Spektrum von Tätigkeiten erledigen, darunter auch körperlich anstrengende Arbeiten, die weniger fortschrittliche Technologien noch dem Menschen überliefern. Wenn eine vollständige Automatisierung nicht möglich ist, können intelligente Roboter (wie die im nächsten Abschnitt beschriebenen Koboter) Seite an Seite mit Menschen arbeiten, um die gesundheitlichen Folgen körperlicher Anstrengung, repetitiver Bewegungen oder unbequemer Stellungen – einige der Hauptursachen von Muskel-Skelett-Verletzungen – zu verringern. Die gleichen Technologien können aber auch psychosoziale Risiken bergen, wenn Menschen gezwungen werden, im gleichen Tempo wie die Roboter zu arbeiten. Auch Risiken für Leib und Leben sind nicht auszuschließen, z. B. bei möglichen Zusammenstößen. Hinzu kommen Haftungsfragen im Fall von Personen- oder Sachschäden (Moore, 2019^[75]).³⁵

³⁵ Eine Reihe von Fallstudien (Jaehrling et al., 2018^[107]) veranschaulicht zusätzliche Risiken, zu denen es beispielsweise nach der Einführung automatischer Sortiersysteme in Lagerhallen gekommen war. Die mit der Arbeitsumorganisation verbundene Aufspaltung der manuellen Sortiertätigkeit in zwei verschiedene Tätigkeiten („Zuführen“ und „Palettieren“) machte die Arbeit ermüdender, weil den Beschäftigten die eintönigen und repetitiven Routinetätigkeiten überlassen blieben, deren Automatisierung zu kostspielig war. Die Beschäftigten hatten ein Gefühl der Entfremdung,

98. Wie in den vorangegangenen Kapiteln geschildert, könnte sich das Aufgabenspektrum und das Arbeitsumfeld von hochqualifizierten Beschäftigten (z. B. Labortechniker*innen, Ingenieur*innen und Versicherungsmathematiker*innen) infolge der Fähigkeiten von KI in Bereichen wie Problemlösen, logisches Schlussfolgern und Wahrnehmung erheblich verändern. Dennoch fand die Frage, inwieweit die aus KI resultierende Arbeitsumorganisation die Qualität des Arbeitsumfelds hochqualifizierter Arbeitskräfte verbessern oder verschlechtern könnte, in der Fachliteratur bislang wenig Aufmerksamkeit. Eine der wenigen Ausnahmen ist die Studie von Jha und Topol (2016^[83]), die sich mit der Frage auseinandersetzt, wie die visuelle Ermüdung von Radiolog*innen infolge von KI steigen könnte, da ihr Beruf dadurch immer datenlastiger wird und es bei ihrer Tätigkeit immer weniger um Schlussfolgern und immer mehr um Erkennen geht. Diese Lücke in der Fachliteratur könnte dem Umstand geschuldet sein, dass der Qualität des Arbeitsumfelds von Hochqualifizierten generell weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird, da diese Beschäftigten mit größerer Wahrscheinlichkeit in einem eher angenehmen Kontext arbeiten (OECD, 2017^[79]). Zudem dürften Hochqualifizierte in Beschäftigungen mit hohem KI-Potenzial auch mehr Mitsprachemöglichkeiten bei der Einführung von KI haben, da sie mit größerer Wahrscheinlichkeit für die Funktion der Organisation notwendiges Fachwissen besitzen, sodass eine Verweigerung der Mitwirkung ihrerseits kostspielig werden könnte.

5.2. KI kann eine enge Zusammenarbeit von Mensch und Roboter fördern

99. Bislang wurden die Möglichkeiten der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter in Fertigungs- und Lagerumgebungen u. a. durch die physischen Gefahren begrenzt, die entstehen, wenn sich Menschen und Roboter im selben Raum bewegen. KI-gestützte Technologien könnten es Menschen jedoch gestatten, eng mit Robotern zusammenzuarbeiten, ohne dass ihre körperliche oder psychische Gesundheit gefährdet würde (Daugherty, P. und J. Wilson, 2018^{[84]; [85]}). Ein Beispiel³⁶ hierfür sind KI-gestützte Kobotter.

100. Kobotter ermöglichen es Unternehmen, die Kraft und Ausdauer von Robotern mit dem impliziten Wissen und der flexiblen Entscheidungsfähigkeit von Menschen zu kombinieren (Knudsen, M. und J. Kaivo-Oja, 2020^[86]) und so die menschlichen Fähigkeiten zu ergänzen und zu vergrößern (anstatt sie zu ersetzen) (Daugherty, P. und J. Wilson, 2018^{[84]; [85]}). So kann eine deutlich bessere Leistung erzielt werden als nur mit Robotern. Kollaborative Roboter gelten als eines der am raschesten expandierenden Segmente des Robotikmarkts (Goldberg, 2019^[87]). Villani et al. (2018^[88]) nennen die Anwendungsbereiche in der Industrie, in denen sich Kobotter der einschlägigen Literatur zufolge als am vorteilhaftesten erwiesen haben, z. B. bei der Handhabung von Teilen, beim Schweißen und Montieren sowie in der Automobilindustrie, wo die Nachfrage aktuell am größten ist. In solchen Anwendungen unterstützen die Kobotter den Menschen in der Regel, indem sie ihm langweilige und körperlich anstrengende Arbeiten wie das Bewegen von Werkstoffen, das Heben schwerer Gegenstände oder repetitive Produktprüfungen abnehmen.

101. Trotz dieser Vorteile dürfte es zu neuen physischen und psychosozialen Risiken kommen, wenn KI-gestützte Kobotter in großer Nähe zu Menschen arbeiten. Aus diesem Grund werden Roboter in Industrieumgebungen üblicherweise von den Menschen getrennt, sodass es zu wenig physischer Interaktion

als seien sie nur noch ein „Anhängsel der Maschine“. Die in den Fallstudien behandelten automatischen Sortiersysteme basierten zwar offenbar nicht auf KI, bei KI-gestützten Systemen dürfte aber mit ähnlichen Ergebnissen zu rechnen sein.

³⁶ Ein weiteres Beispiel ist der in Abschnitt 4.2.2 erwähnte Einsatz KI-gestützter virtueller Realität in Fertigungsverfahren, der es Menschen ermöglicht, über interaktive Schnittstellen, die Präzision und Wahrnehmung steigern, sicher mit Robotern zusammenzuarbeiten (Acemoglu, D. und P. Restrepo, 2020^[49]).

zwischen ihnen kommt.³⁷ Menschen, die mit kollaborativen Robotern in der Montage arbeiten, sind effektiv einer starken psychischen Belastung ausgesetzt. Dies zeigt die Beobachtung bestimmter psychologischer und physiologischer Reaktionen (z. B. Schwitzen), die deutlicher ausgeprägt sind, wenn sich ein Kobot in einem Radius von zwei Metern von der menschlichen Arbeitskraft befindet und sich rasch ohne Vorwarnung bewegt (Arai, T., R. Kato und M. Fujita, 2010_[89]).

102. Zum Teil wird die Ansicht vertreten, dass diese Risiken durch intelligente Navigationssysteme verringert werden können. Koboten können mit KI-gestützten Navigationssystemen ausgestattet werden, die es ihnen gestatten, sich in einer gemeinsamen Arbeitsumgebung mit Menschen zu bewegen und die damit verbundenen Aspekte (z. B. das menschliche Sichtfeld und die menschlichen Bewegungsmuster) zu berücksichtigen (Lasota, P. und J. Shah, 2015_[90]). So sollen nicht nur Zusammenstöße vermieden werden, sondern auch fließend abgestimmte Bewegungsabläufe zwischen Mensch und Maschine ermöglicht werden, damit sich die Beschäftigten bei der Zusammenarbeit mit „Kollege Roboter“ sicher und wohl fühlen. Lasota und Shah (2015_[90]) zeigen in einem Experiment auf, dass sich Beschäftigte zufriedener, sicherer und wohler fühlen, wenn sie mit einem KI-gestützten Roboter anstatt mit einem normalen Roboter arbeiten und dass die Arbeiten so auch schneller erledigt werden.³⁸

103. Doch selbst wenn die enge Zusammenarbeit, die mit Kobotern möglich ist, in bestimmten Situationen leistungsfördernd wirken kann, herrscht Besorgnis über eine mögliche Zunahme der Arbeitsintensität, wenn der Mensch sich an den Arbeitsrhythmus des Roboters anpassen muss anstatt umgekehrt (Moore, 2019_[75]). Wenn dem Kobot mehr Autonomie gegeben wird, kann dies u. U. die Autonomie und den Ermessensspielraum des Menschen beschneiden. Diese beiden Elemente sind Studien zufolge eng mit der Arbeitszufriedenheit und dem physischen und psychologischen Wohlbefinden der Beschäftigten assoziiert und helfen die negativen Auswirkungen einer hohen Arbeitsintensität abzufedern (OECD, 2017_[79]) unter Bezugnahme auf (Karasek, 1979_[91]; Karasek, R. und T. Theorell, 1990_[92]).

104. Einige Experimente deuten darauf hin, dass ein mit einem KI-gestützten Planausführungssystem ausgestatteter Kobot in bestimmten Situationen gut als Teamleiter fungieren und Aufgaben an menschliche Teammitglieder verteilen kann. In einem dieser Experimente (Gombolay et al., 2015_[93]) sollten 24 Miniteams aus je 2 Menschen zusammen mit 1 Kobot, der mit einem Planausführungssystem ausgestattet war, Legoteile zusammensetzen. Dabei zeigte sich, dass es die Proband*innen angenehmer fanden, wenn der Kobot die Koordination vollauf übernahm, als wenn einer von ihnen dafür zuständig war oder die Koordinationsverantwortung zwischen Mensch und Maschine aufgeteilt war. Diese Ergebnisse überraschten das Forscherteam, das damit gerechnet hatte, dass die Proband*innen gerne selbst etwas Kontrolle über die Koordination ihrer Arbeit haben würden. Möglicherweise empfanden die Proband*innen den Abstimmungsprozess als zu mühevoll, vor allem angesichts der engen Terminvorgaben, und bevorzugten es deshalb, Teil eines effizienten Teams zu sein, anstatt selbst aktiv an der Koordination mitzuwirken.

105. Das Potenzial zur Leistungssteigerung, das KI bietet, wenn sie über Kobot eine enge Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine ermöglicht, wird in Forschung und Entwicklung aktiv untersucht. Ein großer Teil dieser Studien befasst sich mit dem Effekt der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter auf das Vertrauens- und Sicherheitsgefühl sowie die Stressbelastung der Beschäftigten (z. B. Villani et al. (2018_[88]), TNO (2018_[94]), Hancock et al. (2011_[95])). Villani et al. (2018_[88]) stellen in ihrer Literatursichtung fest, dass Sicherheitsfragen bei der Entwicklung von Kobotern die größte Herausforderung

³⁷ Jahrzehntlang handelte es sich bei Robotern um große Maschinen, die üblicherweise in Räumen standen, in denen keine Menschen arbeiteten, und die nur eine bestimmte Tätigkeit erledigten, z. B. eine Metallpresse bestückten (Daugherty, P. und J. Wilson, 2018_[84]). Diese Tätigkeit war Teil einer starren, vorab festgelegten Verfahrensabfolge, bei der Menschen im Allgemeinen andere vordefinierte Aufgaben erledigten, z. B. die gepressten Metallteile prüften, um fehlerhafte Teile auszusondern.

³⁸ Ein Vergleich mit einem Arbeitsumfeld, in dem nur Menschen tätig sind, wurde in dieser Studie nicht angestellt.

darstellen. Sie fordern die Entwickler*innen daher auf, Sicherheit Vorrang vor Leistung zu geben. Sie kommen zu dem Schluss, dass bestimmte Fortschritte auf dem Gebiet der kollaborativen Roboter, die die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine verbessern könnten (z. B. für den Menschen angenehme Kommunikationsschnittstellen), noch nicht den Weg vom Labor in die Fabrik gefunden haben. Daher ist nicht klar, ob sich die durch Kobotter in Aussicht gestellten Verbesserungen der Sicherheit und des Wohlbefindens der Beschäftigten tatsächlich in vollem Umfang realisieren lassen.

5.3. KI kann Personalmanagement und Laufbahnentwicklung unterstützen

106. KI weist verschiedene Merkmale auf, die diese Technologien besonders attraktiv für Unternehmen machen, die modernere, stärker partizipative und ansprechendere Personalmanagementmodelle umsetzen wollen. Das Gleiche gilt für Beschäftigte, die sich beruflich weiterentwickeln möchten. Die Vorteile für die Beschäftigten hängen jedoch sehr stark davon ab, wie die Arbeitgeber diese neuen Technologien einsetzen, mit denen erhebliche Mengen an Daten zur Arbeitsleistung erfasst und erstellt werden können, was den auf den Beschäftigten lastenden Druck erhöhen kann (vgl. Abschnitt 5.4). Unter diesem Vorbehalt sind in Tabelle 5.1 einige Anwendungen dargestellt, die zeigen, wie KI eingesetzt werden kann, um personalisiertes Coaching zu ermöglichen, Managern bei ihrer Arbeit zu helfen, das Kompetenz-Matching zu erleichtern und Schulungsinstrumente und -programme zu verbessern.

Tabelle 5.1. KI-Anwendungen für Personalmanagement und Laufbahnentwicklung

Anwendung	Was wird geboten?	Wie wird KI genutzt?
„Nudge Engine“ von Humu	Laufendes personalisiertes Coaching für Beschäftigte und Manager*innen auf Basis verhaltens- und arbeitspsychologischer Erkenntnisse	Durch maschinelles Lernen wird ermittelt, welche Motivationstechniken, Messagingformate und Inhalte zu welchem Zeitpunkt bei welchen Beschäftigten am wirkungsvollsten sind
Videogestütztes Produktivitätsmonitoring von Dristi	Effizienzsteigerungen entlang der Montagekette durch Ermittlung von Schwachstellen und Reibungsverlusten in den Fertigungsabläufen	Bilderkennungssoftware wandelt Videoaufnahmen der Beschäftigten in Datenpunkte für eine nutzerfreundliche App um
Wearables von Humanyze	Von den Beschäftigten getragene „Sociometer“, die Kommunikationsmuster aufzeichnen, um Feedback zum Teamverhalten zu geben	KI-gestützte Analyseprogramme erkennen Schwachstellen in den Kommunikationsmustern, z. B. anhand von Stimmlage, Gestik, Unterbrechungen usw.
Gesichtserkennungssoftware von HireVue	Analysen aufgezeichneter Gespräche mit den Bewerber*innen, die die Einstellungsverfahren effizienter machen sollen	Gesichtserkennungssoftware analysiert Mimik, Körpersprache und Wortwahl, um das Auswahlverfahren zu unterstützen
„Predictive Attrition Program“ von IBM	Prognosen zu voraussichtlichen Personalabgängen, die Manager*innen gestatten, strategische Maßnahmen zu ergreifen	Watson, die KI-Plattform von IBM, macht Vorhersagen ausgehend von einer Vielzahl von Datenpunkten
Chatbot Recruiter der U.S. Army	Beantwortung von Fragen zum Einstellungsverfahren der US-Armee und ggf. Weiterleitung von Interessent*innen an Rekrutierungsverantwortliche	NLP-gestützte Chatbots sprechen mit Interessent*innen in der gleichen Art und mit den gleichen Worten wie Rekrutierungsverantwortliche
Bewerbungsassistent von Jobiri	Hilfe bei der Formulierung von Lebensläufen und Anschreiben für Arbeitssuchende	KI-Algorithmen evaluieren Lebensläufe und geben personalisiertes Feedback
Instant Coach Flight Simulator	Virtuelles Einzeltraining zur Ergänzung regulärer Schulungen	Chatbot gibt in Einzelsitzungen Feedback zu schwierigen, gefährlichen oder unangenehmen Situationen
„Blue Matching“ von IBM	Personalisierte interne berufliche Empfehlungen für IBM-Mitarbeiter*innen auf freiwilliger Basis	Generierung von Empfehlungen unter Berücksichtigung der Qualifikationen, Wünsche und Kompetenzen der Mitarbeiter*innen durch Predictive Analytics

Anmerkung: Übersicht über verschiedene Anwendungsbeispiele von KI im Personalwesen und zur Laufbahnentwicklung ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Die Angaben sind den Websites der Anbieter entnommen.

107. Da KI große Mengen an Daten verarbeiten und in Echtzeit lernen kann, könnte sie ein gutes Instrument sein, um kontinuierlich Feedback zu geben (was z. B. UltiPro Perception von Ultimate Software leistet). Statt auf die Ergebnisse jährlicher Befragungen zu Engagement und Motivation der Beschäftigten zu warten, können Manager*innen dank regelmäßigen Feedbacks zeitnah eingreifen, um sicherzustellen, dass die Beschäftigten ihre Anforderungen und Ziele erfüllen (Nielsen et al., 2016^[96]; Kark, R., D. Van Dijk und D. Vashdi, 2018^[97]).

108. Aufgrund ihrer Fähigkeiten im Bereich der Datensammlung und -analyse ist KI ein attraktives Instrument zur Unterstützung von Managemententscheidungen, etwa anhand eines Monitorings der Produktivität der Beschäftigten (z. B. mit der videogestützten Lösung von Dristi) oder ihres Kommunikationsverhaltens (z. B. mit den Wearables von Humanyze). Für Personalverantwortliche können KI-Technologien interessant sein, weil sie stärker datenorientierte Einstellungsverfahren (z. B. mit der Gesichtserkennungssoftware von HireVue) oder Konzepte zur Personalbindung (z. B. mit dem IBM-Programm zur Vorhersage drohender Arbeitskräfteabgänge) ermöglichen oder weil sie Zeit sparen helfen (wie dies beim Chatbot Recruiter der U.S. Army der Fall ist).

109. KI kann Arbeitskräften helfen, ihre Karriere voranzubringen, indem sie Arbeitssuchenden bei der Formulierung von Lebensläufen hilft (wie der Bewerbungsassistent von Jobiri) oder Schulungsprogramme verbessert (wie der Instant Coach Flight Simulator). KI-gestützte Datenanalysen (wie sie Blue Matching von IBM bietet) könnten Beschäftigten helfen, Stellen zu finden, die ihren Kompetenzen besser entsprechen, was nachweislich ein wichtiger Faktor für Arbeitszufriedenheit und Leistung ist (Saint-Martin, A., H. Inanc und C. Prinz, 2018^[82]).

110. Einige KI-Anwendungen kombinieren komplexe Datenanalysen mit Erkenntnissen der Neuro- oder Verhaltenswissenschaft sowie der angewandten Forschung in verschiedenen Bereichen wie Kommunikation und Organisationspsychologie (ein Beispiel hierfür ist die Nudge Engine von Humu). Solches Wissen kann einer positiven Arbeitskultur förderlich sein, gehört aber häufig nicht zu den Fähigkeiten und Fertigkeiten, auf die die Arbeitgeber in ihrem Kerngeschäft besonderes Augenmerk richten. Hier können KI-Technologien im Vergleich zu menschlichen Coaches Kosteneinsparungen und eine bessere Skalierbarkeit ermöglichen (Bersin, 2018^[98]).

111. Für Unternehmen, die die Arbeitsplatzkultur und die Qualität des Arbeitsumfelds verbessern wollen, können solche Technologien sehr interessant sein. Sie können aber auch den entgegengesetzten Effekt haben, wenn sie eine zu starke Überwachung durch das Unternehmen ermöglichen, Datenschutzanforderungen zuwiderlaufen oder nicht hinreichend transparent und nachvollziehbar sind (wie in Abschnitt 5.4 erörtert).

112. Die Daten zur aktuellen Nutzung von KI-Anwendungen im Personalmanagement liefern kein eindeutiges Bild, lassen aber auf Wachstumspotenzial schließen. Einem Bericht zufolge (PwC, 2017^[99]) nutzen 40 % der Personalabteilungen internationaler Unternehmen (die meisten davon in den Vereinigten Staaten) aktuell KI-Anwendungen, hauptsächlich für Einstellungsverfahren. An einer Roundtable-Diskussion (Mathis, 2018^[100]) teilnehmende Personalfachleute waren sich einig, dass dies der Haupteinsatzbereich sei, einige sagten aber auch, dass sie KI nutzten, um E-Learning-Inhalte stärker zu personalisieren. In diesem Kontext wurde festgestellt, dass im Vergleich zu Gesundheit, Robotik, Marketing, Vertrieb und Kundenpflege nur ein sehr kleiner Teil der Gesamtinvestitionen für die Entwicklung von KI-Anwendungen auf das Personalwesen entfällt (unter Zitierung von HRWins (2018^[101])), dass die Zahl der verkauften KI-Anwendungen für das Personalmanagement zwischen 2013 und 2018 aber beträchtlich gestiegen ist (unter Zitierung von CB Insights (2018^[102])). In einer anderen neueren Umfrage, die in über 30 Ländern in verschiedenen Wirtschaftszweigen durchgeführt wurde, äußerte die Mehrzahl der befragten Personalfachleute die Ansicht, dass KI das interne Job-Matching verbessern und Chancen sichtbarer machen könnte (Zhang, H., S. Feinzig und H. Hemmingham, 2018^[103]). Die gleiche Studie zeigte aber auch, dass

diese Möglichkeiten bislang nur wenig genutzt werden: Fast zwei Drittel der befragten Personalverantwortlichen gaben an, dass sie solche Tools noch nicht anwenden. Nur 6 % machten eigenen Angaben zufolge mittleren oder starken Gebrauch von KI-Lösungen.

5.4. KI kann auch Risiken für das Arbeitsumfeld bergen

113. Einige der Merkmale, die KI-Algorithmen so erfolgreich machen, können zugleich Risiken für die Qualität des Arbeitsumfelds bergen. Eine zu starke Überwachung kann psychosoziale Risiken entstehen lassen, was zunehmend als ein wichtiger Aspekt von Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit gilt (Leka, S. und A. Jain, 2010^[104]; ILO, 2016^[105]). Probleme des Datenschutzes, der Transparenz und der Nachvollziehbarkeit können diese Risiken verschärfen, ganz abgesehen von den ethischen Bedenken,³⁹ die die Einführung von KI am Arbeitsplatz hervorrufen kann. KI kann zudem einige der psychosozialen Risiken verstärken, die mit der Digitalisierung insgesamt einhergehen,⁴⁰ da KI in bereits existierende oder neue Tools für Arbeitsplatzmanagement und -gestaltung eingebettet wird (Moore, 2019^[75]). Dennoch, so stellt Moore fest, werden die Folgen, die die Einführung von KI am Arbeitsplatz für den Arbeitsschutz hat, in den Berichten hoher staatlicher Stellen und Organisationen zu diesem Thema im Allgemeinen nicht angesprochen.

114. Selbst diejenigen, die vor den Risiken der Nutzung von KI am Arbeitsplatz warnen, unterstreichen, dass die Verwendung solcher Tools zur Beobachtung der Tätigkeit der Beschäftigten nicht zwangsläufig einen nachteiligen Effekt hat (Moore, 2019^[75]; De Stefano, 2018^[106]). Moore (2019^[75]) zufolge ist es die Art ihrer Nutzung und nicht die Technologie als solche, die negative oder positive Auswirkungen auf die Arbeitsbedingungen hat. Jaehrling et al. (2018^[107]) weisen darauf hin, wie wichtig vermittelnde Elemente wie etwa die Haltung und Wahrnehmung des Managements sowie die Verhandlungsmacht der Beschäftigten im Hinblick darauf sind, welche Folgen technologische Neuerungen für das Arbeitsumfeld haben.

5.4.1. Möglichkeit einer übermäßigen Überwachung durch das Unternehmen

115. Eine zu starke Überwachung der Beschäftigten über Datenerfassung und -verarbeitung kann bei ihnen Stress auslösen und ihr Gesamtbefinden beeinträchtigen. Überwachung bei der Arbeit ist kein wirklich neues Phänomen,⁴¹ KI-Tools können die Situation jedoch verschärfen, nicht zuletzt weil die Funktionsweise dieser Tools selbst darauf basiert: Jedes noch so kleine Stück Information kann potenziell wertvoll sein (Van den Broek, 2017^[108]).

116. Viele der in Tabelle 5.1 aufgeführten Anwendungen für das Personalmanagement erfordern, dass zusätzliche Daten am Arbeitsplatz erfasst werden. Selbst Koboten – die nicht dazu gedacht sind, das Verhalten der Beschäftigten zu überwachen, sondern sie bei der Erledigung ihrer Aufgaben unterstützen sollen – produzieren Abertausende von granularen Daten zur Arbeitsleistung (und z. B. auch zur Dauer der Zeit, während der Menschen und Maschinen nicht aktiv sind). Zudem verlangen einige innovative Konzepte, die die für den Menschen bei der Arbeit mit Robotern bestehenden psychosozialen Risiken verringern sollen, dass die Beschäftigten, eine Smart-Watch tragen, die ihr Stressniveau misst (Landi et al., 2018^[109]).

³⁹ In einer demnächst erscheinenden OECD-Studie werden diese ethischen Fragen gesondert erörtert. Diese Literatursichtung befasst sich nur mit den Auswirkungen auf das Arbeitsumfeld sowie die Beschäftigungsqualität.

⁴⁰ Beispielsweise Stress, Diskriminierung, verstärkte Beschäftigungsunsicherheit, Muskel-Skelett-Erkrankungen, Intensivierung der Arbeitsbelastung und Arbeitsplatzverlust.

⁴¹ Computerüberwachungsprogramme, die beispielsweise die Zahl und Richtigkeit der Tastenanschläge messen, oder Überwachungskameras, die zwar aus Sicherheitsgründen eingesetzt werden, möglicherweise aber auch Fehlverhalten der Beschäftigten aufzeichnen, werden am Arbeitsplatz schon seit Längerem eingesetzt, schon lange vor der Einführung von KI-Technologien.

117. Selbst wenn die Daten wirksam anonymisiert und aggregiert werden, kann eine solche Datenerfassung hochgradig invasiv sein und zur Folge haben, dass persönliche Elemente wie der Grad der Interaktion mit den Kolleg*innen und die Stimmung der Beschäftigten aufgezeichnet werden (De Stefano, 2018_[106]). Moore (2019_[75]) beschreibt, wie die Arbeit in Callcentern, die ohnehin als sehr repetitiv, anstrengend und überwachungsanfällig gilt, durch KI-Tools noch stärker überwacht werden kann (unter Bezugnahme auf (Woodcock, 2016_[110])). KI-Tools zur Beobachtung der Stimmung oder Mimik der Beschäftigten könnten zwar dazu eingesetzt werden, Arbeitsüberlastung und Stresssituationen zu erkennen und zu vermeiden, die dazu erforderliche invasive Datenerfassung könnte aber zugleich das Gefühl der Überwachung verstärken und so zu einer neuen Stressquelle werden.

118. Wichtig ist auch, wie sich KI-Tools auf die Managementpraktiken auswirken. Wenn solche Instrumente zur Umsetzung von Mikromanagementmethoden oder anderen Praktiken, die den Druck auf die Beschäftigten erhöhen, eingesetzt werden, können sie Stress und Ängste auslösen (Moore, 2019_[75]) und sogar zu Effizienz- und Produktivitätseinbußen führen ((De Stefano, 2018_[106]) unter Bezugnahme auf Moore, P., M. Upchurch und X. Whittaker (Hrsg.) (2018_[111])).

5.4.2. Datenschutzprobleme: „Big Brother“ im Büro

119. Fragen des Datenschutzes stellen sich in besonderem Maß, wenn die Datenerfassung durch KI-gestützte Technologien in die Privatsphäre der Beschäftigten vordringt. Für die Sentimentanalyse kann z. B. der Schriftverkehr der Beschäftigten – E-Mails, Kurznachrichten, Blogs oder Posts und Kommentare in sozialen Netzwerken – erfasst und analysiert werden.

120. Solche Datenschutzprobleme können bei allen KI-gestützten Technologien auftreten, von Robotern bis zu virtuellen Einzelcoaches über Smart-Apps und Plattformen für die Entscheidungsfindung in sensiblen Bereichen des Personalmanagements wie Einstellungsverfahren und Leistungsmanagement. Die Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen sind diesen Technologien wesenseigen. In einem neueren Weißbuch (Europäische Kommission, 2020_[112]) bekundet die Europäische Kommission daher ihre Absicht, zusätzliche durch KI-Systeme entstehende Datenschutzrisiken sowie die Anwendung der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) (Europäische Kommission, 2018_[113]) auf diese Risiken regelmäßig zu prüfen.

5.4.3. Fehlende Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Fairness

121. Viele der vorstehend erörterten Probleme können sich verschärfen, wenn nicht transparent darüber kommuniziert wird, welche KI-Technologien am Arbeitsplatz eingesetzt werden und wie sie in die Entscheidungsfindung einfließen. Fehlende Transparenz und fehlende Nachvollziehbarkeit können zu einer missbräuchlichen Nutzung von KI sowie zur Verwendung falscher und/oder verzerrter KI-Daten führen. Sie können zudem Bedenken in Bezug auf ethische Fragen und Datenschutz verschärfen und eine Hürde für Beschäftigte darstellen, die bei der Nutzung von KI am Arbeitsplatz Mitspracherechte geltend machen möchten. KI kann falsche und/oder verzerrte Ergebnisse liefern und so zu unfairen und diskriminierenden Entscheidungen führen.

122. Personalverantwortliche erhoffen sich von KI-Technologien u. a., dass damit unbewusste Vorurteile – sogenannte Biases – von Vorgesetzten überwunden und durch objektivere und neutralere Messgrößen ersetzt werden können. Manchmal müssen sie jedoch feststellen, dass in Wirklichkeit nur eine Reihe von Vorurteilen an die Stelle einer anderen tritt (De Stefano, 2018_[106]). Wird ein System zur Auswahl von Kandidat*innen für ein Einstellungsgespräch z. B. anhand von Daten trainiert, die aus früheren von Menschen getroffenen Entscheidungen gewonnen wurden, übernimmt es u. U. unbeabsichtigt deren unbewusste Vorurteile in Bezug auf Hautfarbe, Geschlecht, ethnischen Hintergrund usw. (Brynjolfsson, E. und A. McAfee, 2017_[31]). 2018 musste Amazon z. B. ein experimentelles KI-gestütztes Tool für die Personalauswahl außer Betrieb nehmen, weil sich zeigte, dass es weibliche Kandidaten benachteiligte (Dastin,

2018_[114]). Da Männer in techniklastigen Berufen überrepräsentiert sind, benotete das System Lebensläufe schlechter, in denen Begriffe vorkamen, die das Geschlecht der Bewerberinnen erkennen ließen, wie z. B. „Mädchenschule“ oder „Frauensachclub“. Eine neuere Studie zeigt, dass Einstellungsalgorithmen bei der Analyse der Qualität der Bewerbungen das richtige Gleichgewicht zwischen der Auswahl aus Gruppen mit bekannten Ergebnissen und aus unterrepräsentierten Gruppen finden müssen, um erkennen zu können, welches die geeignetsten Kandidat*innen sind (und Vorurteile auszumerzen, auch wenn dies möglicherweise nicht das eigentliche Ziel ist) (Li, D., L. Raymond und P. Bergman, 2020_[115]).

123. Auch in KI-gestützte Systeme für das Leistungsmanagement können subjektive Einschätzungen einfließen, z. B. hinsichtlich immaterieller Werte wie Motivation oder „Cultural Fit“. Damit besteht die Gefahr, dass stereotype Vorstellungen z. B. hinsichtlich bestimmter ethnischer Gruppen die Entscheidungsfindung beeinflussen und so der Diversität schaden (Bodie et al., 2017_[116]). Hinzu kommt, dass solche Biases nicht als explizite Regeln im System verankert sind, sondern unterschwellig über das Zusammenspiel zwischen den Tausenden verschiedenen berücksichtigten Faktoren einfließen. Daher kann es schwierig werden, das Problem zu erkennen und zu beheben (Brynjolfsson, E. und A. McAfee, 2017_[31]).⁴² De Stefano weist darauf hin, wie wichtig es ist, dass die Beschäftigten „über den Algorithmus verhandeln“ können (z. B. in Tarifverhandlungen), wenn KI in Leistungsmanagementsystemen eingesetzt wird. Im Fall einer geringen Transparenz wird dies schwieriger.

124. Die Arbeitgeber müssen lernen, durch Monitoringsysteme gewonnene Daten richtig zu nutzen. Solche Daten müssen im Kontext gesehen werden, um interpretiert werden zu können (Van den Broek, 2017_[108]). Auch wenn die heutigen Technologien immer intelligenter werden, bleibt es für Maschinen schwierig, Kontext zu erfassen und zu interpretieren. Daher kann ein datengestütztes Leistungsmanagement in Kombination mit algorithmischer Entscheidungsfindung psychosoziale Risiken und das Stressniveau erheblich erhöhen, sofern es nicht durch ethische Überlegungen abgestützt ist und eine hinreichende menschliche Kontrolle vorgesehen ist (Moore, 2019_[75]). Wenn die Beschäftigten den Eindruck haben, dass Entscheidungen in automatisierten Verfahren anhand von Zahlen und Daten getroffen werden, zu denen sie keinen Zugang haben und die sich ihrer Kontrolle entziehen, können Stress und Ängste aufkommen. Dies kann zu großer Verunsicherung über die Richtigkeit und Fairness der Entscheidungen führen, vor allem wenn diese Entscheidungen Beförderungen und Gehalt, Veränderungen der Stellenbeschreibung oder Einstellungen und Entlassungen betreffen.

125. Für in der EU tätige Unternehmen räumt die DSGVO betroffenen Personen das Recht ein, keiner ausschließlich auf automatisierter Verarbeitung beruhenden Einzelfallentscheidung unterworfen zu werden (was auch Profilings zur Beurteilung ihrer Arbeitsleistung umfasst), sodass gegebenenfalls menschliche Entscheider*innen hinzugezogen werden müssen. Guszczka et al. (2018_[63]) halten es für möglich, dass neue Rechtsvorschriften auf diesem Gebiet zur Entstehung gänzlich neuer Dienstleistungen führen könnten, wie etwa Algorithmus-Auditing. Guszczka et al. (2018_[63]) zufolge müssen die Unternehmen u. U. genauso viel Kreativität, Arbeit und Innovationen aufbringen, um die Transparenz und Nachvollziehbarkeit von KI-Technologien zu erhöhen (insbesondere wenn diese ihre Mitarbeiter*innen betreffen), wie um diese Technologien zu entwickeln.

⁴² Erste technische Lösungen scheint es jedoch zu geben, z. B. Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME) (Daugherty, P. und J. Wilson, 2018_[84]). Wenn ein Expertensystem für das Personalmanagement beispielsweise die geeignetste Person für eine bestimmte Stelle ermittelt hat, kann LIME aufzeigen, welche Variablen zu diesem Schluss geführt haben (etwa der Bildungsabschluss oder eingehende Erfahrung auf einem bestimmten eng abgegrenzten Gebiet) und welche Daten gegen diese Entscheidung sprechen (z. B. mangelnde Teamerfahrung).

Literaturverzeichnis

- Accenture (2018), *Reworking the Revolution*, Accenture, [35]
<https://www.accenture.com/acnmedia/PDF-69/Accenture-Reworking-the-Revolution-Jan-2018-POV.pdf>.
- Accenture (2017), *How AI boosts industry profits and innovation*, Accenture, [45]
<https://www.accenture.com/fr-fr/acnmedia/36DC7F76EAB444CAB6A7F44017CC3997.pdf>.
- Acemoglu, D. et al. (2020), "AI and Jobs: Evidence from Online Vacancies", Paper für die NBER-Visiokonferenz "Economics of Artificial Intelligence", 24.-25. September, [54]
https://conference.nber.org/conf_papers/f143876.pdf.
- Acemoglu, D. und P. Restrepo (2020), "The wrong kind of AI? Artificial intelligence and the future of labor demand", *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, Vol. 13/1, S. 25-35, [49]
<http://dx.doi.org/10.1093/cjres/rsz022>.
- Acemoglu, D. und P. Restrepo (2019), "Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 33/2, S. 3-30, [48]
<http://dx.doi.org/10.1257/jep.33.2.3>.
- Acemoglu, D. und P. Restrepo (2018), "Artificial Intelligence, Automation and Work", *NBER Working Paper*, No. 24196, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, [13]
<http://dx.doi.org/10.3386/w24196>.
- Acemoglu, D. und P. Restrepo (2018), "Low-Skill and High-Skill Automation", *Journal of Human Capital*, Vol. 12/2, S. 204-232, [121]
<https://doi.org/10.1086/697242>.
- Acemoglu, D. und P. Restrepo (2018), "The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment", *American Economic Review*, Vol. 108/6, S. 1488-1542, [119]
<http://dx.doi.org/10.1257/aer.20160696>.
- Aghion, P., C. Antonin und S. Bunel (2019), "Artificial Intelligence, Growth and Employment: The Role of Policy", *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, no. 510-511-512, S. 149-164, [51]
<http://dx.doi.org/10.24187/ecostat.2019.510t.1994>.
- Aghion, P. et al. (2017), "Artificial Intelligence and Economic Growth", *NBER Working Paper*, No. 23928, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, [9]
<http://dx.doi.org/10.3386/w23928>.
- Agrawal, A., J. Gans und A. Goldfarb (2019), "Artificial Intelligence: The Ambiguous Labor Market Impact of Automating Prediction", *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 33/2, S. 31-50, [5]
<http://dx.doi.org/10.1257/jep.33.2.31>.
- Albertini, J. et al. (2017), "A Tale of Two Countries: A Story of the French and US Polarization", No. 11013, Institut zur Zukunft der Arbeit, Bonn, [60]
<http://ftp.iza.org/dp11013.pdf>.
- Alekseeva, L. et al. (2019), "The Demand for AI Skills in the Labor Market", Paper, [70]
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3470610>.
- Analysis Group (2016), "Global Economic Impacts Associated with Artificial Intelligence", Economic Impact Study, Februar, [46]
<https://www.analysisgroup.com/Insights/publishing/global-economic-impacts-associated-with-artificial-intelligence/> (Abruf: 27. März 2020).

- Andrews, D., C. Criscuolo und P. Gal (2016), "The Best versus the Rest: The Global Productivity Slowdown, Divergence across Firms and the Role of Public Policy", *OECD Productivity Working Papers*, No. 5, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/63629cc9-en>. [36]
- Arai, T., R. Kato und M. Fujita (2010), "Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly", *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 59/1, S. 5-8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.043>. [89]
- Autor, D. (2015), "Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 29/3, S. 3-30, <http://dx.doi.org/10.1257/jep.29.3.3>. [56]
- Autor, D. (2014), "Polanyi's Paradox and the Shape of Employment Growth", *NBER Working Paper*, No. 20485, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <http://dx.doi.org/10.3386/w20485>. [30]
- Autor, D. und A. Salomons (2018), "Is automation labor-displacing? Productivity growth, employment, and the labor share", Paper für die BPEA-Konferenz, 8.-9. März, https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2018/03/1_autorsalomons.pdf. [123]
- Autor, D., F. Levy und R. Murnane (2003), "The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 118/4, S. 1279-1333, <https://economics.mit.edu/files/11574> (Abruf: 14. Februar 2020). [20]
- Beede, D. et al. (2020), "Measuring Technology Adoption in Enterprise-Level Surveys: The Annual Business Survey", Präsentation bei der Paper Session "New Approaches to Measuring Technology and Innovation" auf der ASSA-Jahresversammlung 2020, 3.-5. Januar, <https://www.aeaweb.org/conference/2020/preliminary/powerpoint/7rdEN8G6> (Abruf: 2. Oktober 2020). [10]
- Behaghel, L., E. Caroli und M. Roger (2011), "Age Biased Technical and Organisational Change, Training and Employment Prospects of Older Workers", *IZA Discussion Paper*, No. 5544, Institut zur Zukunft der Arbeit, Bonn, <http://ftp.iza.org/dp5544.pdf>. [76]
- Berkowitz, M. und K. Miller (2018), "AI, Attitudes and Values and Ethics", Draft Paper, OECD, Paris, <http://www.oecd.org/education/2030-project/about/documents/Education-and-AI-preparing-for-the-future-AI-Attitudes-and-Values.pdf>. [124]
- Bersin, J. (2018), "Employee Engagement 3.0: Humu Launches Nudge Engine", Online-Artikel, <https://joshbersin.com/2018/10/employee-engagement-3-0-humu-launches-nudge-engine/>. [98]
- Bessen, J. (2018), "Automation and Jobs: When Technology Boosts Employment", *Law and Economics Research Paper*, No. 17-09, Boston University School of Law, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2935003>. [118]
- Bessen, J. (2015), "How Computer Automation Affects Occupations: Technology, Jobs, and Skills", *Law and Economics Research Paper*, No. 15-49, Boston University School of Law, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2690435>. [117]
- Bessen, J. et al. (2018), "The Business of AI Startups", *Law and Economics Research Paper*, No. 18-28, Boston University School of Law, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3293275>. [11]

- Bodie, M. et al. (2017), "The Law and Policy of People Analytics", *University of Colorado Law Review*, Vol. 88, [116]
<https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/ucollr88&id=997&div=&collection=>
 (Abruf: 13. August 2020).
- Bostrom, N. (2006), "How long before superintelligence?", *Linguistic and Philosophical Investigations*, Vol. 5/1, S. 11-20, <https://www.nickbostrom.com/superintelligence.html> (Abruf: [14]
 3. April 2020).
- Bresnahan, T. und M. Trajtenberg (1992), "General Purpose Technologies "Engines of Growth?"", *NBER Working Paper*, No. 4148, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <http://dx.doi.org/10.3386/w4148>. [4]
- Brynjolfsson, E. und A. McAfee (2017), "The Business of Artificial Intelligence. What it can – and cannot – do for your organization", *Harvard Business Review*, 18. Juli, [31]
<https://hbr.org/2017/07/the-business-of-artificial-intelligence?ab=seriesnav-bigidea>.
- Brynjolfsson, E. und A. McAfee (2014), *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*, W. W. Norton & Company, New York. [18]
- Brynjolfsson, E., T. Mitchell und D. Rock (2018), "What Can Machines Learn and What Does It Mean for Occupations and the Economy?", *AEA Papers and Proceedings*, Vol. 108, S. 43-47, [25]
<http://dx.doi.org/10.1257/10.1257/pandp.20181019>.
- Brynjolfsson, E., D. Rock und C. Syverson (2017), "Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics", *NBER Working Paper*, No. 24001, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, [6]
<http://dx.doi.org/10.3386/w24001>.
- Byrne, D. und D. Sichel (2017), "The productivity slowdown is even more puzzling than you think", *VoxEU*, <https://voxeu.org/article/productivity-slowdown-even-more-puzzling-you-think> [39]
 (Abruf: 31. März 2020).
- Cappelli, P. (2020), "The consequences of AI-based technologies for jobs", *R&I Paper Series*, [42]
 No. WP 2020/4, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg,
<http://dx.doi.org/10.2777/348580>.
- Caselli, F. und A. Manning (2017), "Robot Arithmetic: Can New Technology Harm All Workers or the Average Worker?", *CEP Discussion Paper*, No. 1497, Centre for Economic Performance, London, <https://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1497.pdf>. [50]
- CB Insights (2018), *Top AI Trends To Watch In 2018*, [102]
<https://www.cbinsights.com/research/report/artificial-intelligence-trends-2018/>.
- Cockburn, I., R. Henderson und S. Stern (2018), "The Impact of Artificial Intelligence on Innovation", *NBER Working Paper*, No. 24449, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <http://dx.doi.org/10.3386/w24449>. [7]
- Cowen, T. (2016), "Is Innovation Over?", *Foreign Affairs*, Vol. 95/2, [41]
<https://www.foreignaffairs.com/reviews/review-essay/2016-02-15/innovation-over> (Abruf:
 31. März 2020).

- Dastin, J. (2018), "Amazon scraps secret AI recruiting tool that showed bias against women", *Reuters*, 11. Oktober, <https://www.reuters.com/article/us-amazon-com-jobs-automation-insight/amazon-scraps-secret-ai-recruiting-tool-that-showed-bias-against-women-idUSKCN1MK08G> (Abruf: 13. August 2020). [114]
- Daugherty, P. und J. Wilson (2018), "Collaborative Intelligence: Humans and AI Are Joining Forces", *Harvard Business Review*, Juli/August, <https://hbr.org/2018/07/collaborative-intelligence-humans-and-ai-are-joining-forces>. [85]
- Daugherty, P. und J. Wilson (2018), *Human + Machine: Reimagining Work in the Age of AI*, Harvard Business Review Press, Boston. [84]
- Davenport, T. und R. Kalakota (2019), "The potential for artificial intelligence in healthcare", *Future Healthcare Journal*, Vol. 6/2, S. 94-98, <http://dx.doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94>. [33]
- De Stefano, V. (2018), "'Negotiating the algorithm': Automation, artificial intelligence and labour protection", *Employment Working Paper*, No. 246, ILO, Genf, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_policy/documents/publication/wcms_634157.pdf. [106]
- Edelman (2019), "2019 Edelman AI Survey", White Paper, https://www.edelman.com/sites/g/files/aatuss191/files/2019-03/2019_Edelman_AI_Survey_Whitepaper.pdf. [55]
- Ernst, E., R. Merola und D. Samaan (2018), "The economics of artificial intelligence: Implications for the future of work", *Future of Work Working Paper*, No. 5, ILO, Genf, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---cabinet/documents/publication/wcms_647306.pdf. [58]
- EU-OSHA (2017), *Key trends and drivers of change in information and communication technologies and work location*, Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Bilbao, <http://dx.doi.org/10.2802/807562>. [81]
- Europäische Kommission (2020), "Weißbuch zur Künstlichen Intelligenz – Ein europäisches Konzept für Exzellenz und Vertrauen", COM(2020) 65 final, Europäische Kommission, Brüssel, https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_de.pdf. [112]
- Europäische Kommission (2018), "Eine neue Ära für den Datenschutz in der EU – Was ändert sich ab dem 25. Mai 2018?", Factsheet, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, <https://dx.doi.org/10.2775/18559>. [113]
- Felten, E., M. Raj und R. Seamans (2019), "The Occupational Impact of Artificial Intelligence on Labor: The Role of Complementary Skills and Technologies", Paper, NYU Stern School of Business, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3368605>. [24]
- Fossen, F. und A. Sorgner (2019), "New Digital Technologies and Heterogeneous Employment and Wage Dynamics in the United States: Evidence from Individual-Level Data", *IZA Discussion Paper*, No. 12242, Institut zur Zukunft der Arbeit, Bonn, <http://ftp.iza.org/dp12242.pdf>. [32]

- Frey, C. und M. Osborne (2018), "Automation and the future of work – understanding the numbers", Blogbeitrag, 13. April, Oxford Martin School, <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/blog/automation-and-the-future-of-work-understanding-the-numbers/> (Abruf: 9. April 2020). [27]
- Frey, C. und M. Osborne (2017), "The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 114, S. 254-280, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>. [26]
- Gal, P. et al. (2019), "Digitalisation and productivity: In search of the holy grail – Firm-level empirical evidence from EU countries", *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1533, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5080f4b6-en>. [38]
- Gartner (2017), "Gartner Says By 2020, Artificial Intelligence Will Create More Jobs Than It Eliminates", Pressemitteilung, 13. Dezember, Gartner, Stamford, CT, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-12-13-gartner-says-by-2020-artificial-intelligence-will-create-more-jobs-than-it-eliminates> (Abruf: 6. Januar 2020). [65]
- Geroski, P. A. (2000), "Models of technology diffusion", *Research Policy*, Vol. 29/4-5, S. 603-625, [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00092-X). [120]
- Goldberg, K. (2019), "Robots and the return to collaborative intelligence", *Nature Machine Intelligence*, Vol. 1/1, S. 2-4, <http://dx.doi.org/10.1038/s42256-018-0008-x>. [87]
- Gombolay, M. et al. (2015), "Decision-making authority, team efficiency and human worker satisfaction in mixed human-robot teams", *Autonomous Robots*, Vol. 39/3, S. 293-312, <http://dx.doi.org/10.1007/s10514-015-9457-9>. [93]
- Good, I. (1966), "Speculations Concerning the First Ultra-intelligent Machine", *Advances in Computers*, Vol. 6/C, S. 31-88, [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2458\(08\)60418-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2458(08)60418-0). [15]
- Gordon, R. (2018), "Why has Economic Growth Slowed When Innovation Appears to be Accelerating?", *NBER Working Paper*, No. 24554, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <https://dx.doi.org/10.3386/w24554>. [37]
- Grace, K. et al. (2018), "Viewpoint: When Will AI Exceed Human Performance? Evidence from AI Experts", *Journal of Artificial Intelligence Research*, Vol. 62, S. 1-48, <https://doi.org/10.1613/jair.1.11222>. [19]
- Grennan, J. und R. Michaely (2019), "Artificial Intelligence and the Future of Work: Evidence from Analysts", Paper für die NBER-Konferenz "Economics of Artificial Intelligence", 26.-27. September, Toronto, https://conference.nber.org/conf_papers/f130049.pdf. [57]
- Gries, T. und W. Naudé (2018), "Artificial Intelligence, Jobs, Inequality and Productivity: Does Aggregate Demand Matter?", *IZA Discussion Paper*, No. 12005, Institut zur Zukunft der Arbeit, Bonn, <http://ftp.iza.org/dp12005.pdf>. [28]
- Griliches, Z. (1957), "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change", *Econometrica*, Vol. 25/4, S. 501-522, <http://dx.doi.org/10.2307/1905380>. [8]
- Guszcza, J. et al. (2018), "Why We Need to Audit Algorithms", *Harvard Business Review*, 28. November, <https://hbr.org/2018/11/why-we-need-to-audit-algorithms>. [63]

- Hancock, P. et al. (2011), "A Meta-Analysis of Factors Affecting Trust in Human-Robot Interaction", *Human Factors*, Vol. 53/5, S. 517-527, <http://dx.doi.org/10.1177/0018720811417254>. [95]
- HRWins (2018), "Q4 HR Tech VC Update", <https://larocqueinc.com/q4-hr-tech-vc-update/> (Abruf: 19. August 2020). [101]
- ILO (2016), *Workplace Stress: A collective challenge*, ILO, Genf, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_466547.pdf. [105]
- Jaehrling, K. et al. (2018), "The digitisation of warehousing work. Innovations, employment and job quality in French, German and Dutch retail logistics companies", in *QuInnE Working Paper*, No. 6, K. Jaehrling (Hrsg.) "Virtuous circles between innovations, job quality and employment in Europe? Case study evidence from the manufacturing sector, private and public service sector", https://www.soc.lu.se/en/sites/soc.lu.se.en/files/quinne_working_paper_no.6.pdf. [107]
- Jha, S. und E. Topol (2016), "Adapting to artificial intelligence: Radiologists and pathologists as information specialists", *JAMA*, Vol. 316/22, S. 2353-2354, <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2016.17438>. [83]
- Julia, L. (2019), *L'intelligence artificielle n'existe pas*, FIRST. [17]
- Karasek, R. (1979), "Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign", *Administrative Science Quarterly*, Vol. 24/2, S. 285-308, <http://dx.doi.org/10.2307/2392498>. [91]
- Karasek, R. und T. Theorell (1990), *Healthy work : stress, productivity and the reconstruction of working life*, Basic Books, New York. [92]
- Kark, R., D. Van Dijk und D. Vashdi (2018), "Motivated or Demotivated to Be Creative: The Role of Self-Regulatory Focus in Transformational and Transactional Leadership Processes", *Applied Psychology*, Vol. 67/1, S. 186-224, <https://doi.org/10.1111/apps.12122>. [97]
- Kelnar, D. (2019), "Introducing The State of AI 2019: Divergence", 5. März, MMC Writes, <https://medium.com/mmc-writes/introducing-the-state-of-ai-2019-divergence-14d69cb3b16c> (Abruf: 3. Januar 2020). [68]
- Knudsen, M. und J. Kaivo-Oja (2020), "Collaborative Robots: Frontiers of Current Literature", *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, S. 13-20, <http://dx.doi.org/10.38016/jista.682479>. [86]
- Korinek, A. und J. Stiglitz (2017), "Artificial Intelligence and Its Implications for Income Distribution and Unemployment", *NBER Working Paper*, No. 24174, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <https://dx.doi.org/10.3386/w24174>. [77]
- Landi, C. et al. (2018), "Relieving operators' workload: Towards affective robotics in industrial scenarios", *Mechatronics*, Vol. 54, S. 144-154, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.07.012>. [109]
- Lasota, P. und J. Shah (2015), "Analyzing the Effects of Human-Aware Motion Planning on Close-Proximity Human-Robot Collaboration", *Human Factors*, Vol. 57/1, S. 21-33, <http://dx.doi.org/10.1177/0018720814565188>. [90]

- Leka, S. und A. Jain (2010), *Health Impact of Psychosocial Hazards at Work: An Overview*, Weltgesundheitsorganisation, Genf, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44428>. [104]
- Li, D., L. Raymond und P. Bergman (2020), "Hiring as Exploration", *NBER Working Paper*, No. 27736, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <https://dx.doi.org/10.3386/w27736>. [115]
- Mathis, J. (2018), "Innovations are Coming to the Human Resource", *The Journal of Private Equity*, Vol. 21/4, S. 14-17, <https://doi.org/10.3905/jpe.2018.21.4.014>. [100]
- McElheran, K. (2018), "Economic Measurement of AI", Paper für die NBER-Konferenz "Economics of Artificial Intelligence", 13.-14. September, Toronto, http://conference.nber.org/conf_papers/f114642.pdf. [53]
- McKinsey (2019), "Global AISurvey: AI adoption proves its worth, but few scale impact", 22. November, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/global-ai-survey-ai-proves-its-worth-but-few-scale-impact> (Abruf: 9. Juni 2020). [12]
- McKinsey (2018), "Notes from the AI Frontier: Modeling the Impact of AI on the World Economy", *Discussion Paper*, 4. September, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy> (Abruf: 14. Januar 2020). [44]
- Moore, P. (2019), "OSH and the Future of Work: benefits and risks of artificial intelligence tools in workplaces", Discussion Paper, EU-OSHA, Bilbao, <https://osha.europa.eu/en/publications/osh-and-future-work-benefits-and-risks-artificial-intelligence-tools-workplaces/view>. [75]
- Moore, P., M. Upchurch und X. Whittaker (Hrsg.) (2018), *Digitalisation of Work and Resistance*, Palgrave Macmillan, <https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-58232-0>. [111]
- Moretti, E. (2012), *The New Geography of Jobs*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston. [67]
- Moretti, E. (2010), "Local multipliers", *American Economic Review*, Vol. 100/2, S. 373-377, <http://dx.doi.org/10.1257/aer.100.2.373>. [66]
- Naudé, W. (2019), "The Race against the Robots and the Fallacy of the Giant Cheesecake: Immediate and Imagined Impacts of Artificial Intelligence", *IZA Discussion Paper*, No. 12218, Institut zur Zukunft der Arbeit, Bonn, <http://ftp.iza.org/dp12218.pdf>. [47]
- Nedelkoska, L. und G. Quintini (2018), "Automation, skills use and training", *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, No. 202, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/2e2f4eea-en>. [21]
- Nielsen, P. et al. (2016), "Are Transformational and Transactional Types of Leadership Compatible? A Panel Study of Work Motivation", Paper für die 74. Jahreskonferenz der Midwest Political Science Association, Chicago, https://ps.au.dk/fileadmin/Statskundskab/Billeder/Forskning/Forskningsprojekter/LEAP/Dokumenter/Nielsen_et_al..pdf. [96]
- Nordhaus, W. (2015), "Are We Approaching an Economic Singularity? Information Technology and the Future of Economic Growth", *Cowles Foundation Discussion Paper*, No. 2021, Cowles Foundation for Research Economics, Yale University, New Haven, CT, <http://cowles.yale.edu/sites/default/files/files/pub/d20/d2021.pdf>. [16]

- OECD (2021), *Ethical issues arising from AI implementation at the workplace and associated policy challenges*, OECD, Paris. [1]
- OECD (2020), *Künstliche Intelligenz in der Gesellschaft*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/6b89dea3-de>. [3]
- OECD (2019), *OECD Employment Outlook 2019*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/19991266>. [22]
- OECD (2019), “Scoping the OECD AI Principles: Deliberations of the Expert Group on Artificial Intelligence at the OECD (AIGO)”, *OECD Digital Economy Papers*, No. 291, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/d62f618a-en>. [2]
- OECD (2019), “Wissen für 2030”, in *OECD Lernkompass 2030 – OECD-Projekt Future of Education and Skills 2030: Rahmenkonzept des Lernens*, OECD, Paris, http://www.oecd.org/education/2030-project/contact/OECD_Lernkompass_2030.pdf. [73]
- OECD (2018), *Good Jobs for All in a Changing World of Work: The OECD Jobs Strategy*, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264308817-en>. [78]
- OECD (2018), *Job Creation and Local Economic Development 2018*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264305342-en>. [122]
- OECD (2018), *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018: Adapting to Technological and Societal Disruption*, OECD Publishing, Paris, https://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2018-en. [64]
- OECD (2017), *OECD Guidelines on Measuring the Quality of the Working Environment*, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264278240-en>. [79]
- Olmstead, A. und P. Rhode (2002), “Reshaping the Landscape: The Impact and Diffusion of the Tractor in American Agriculture, 1910-1960”, *The Journal of Economic History*, Vol. 61/03, S. 663-698, <http://www.jstor.org/stable/2698132>. [125]
- Polanyi, M. (2009), *The Tacit Dimension*, University of Chicago Press, Chicago. [29]
- PwC (2018), *The macroeconomic impact of artificial intelligence*, <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/macroeconomic-impact-of-ai-technical-report-feb-18.pdf>. [43]
- PwC (2017), *Artificial Intelligence in HR: a No-brainer*, Paper, <https://www.pwc.nl/nl/assets/documents/artificial-intelligence-in-hr-a-no-brainer.pdf>. [99]
- Ransbotham, S. et al. (2019), “Winning With AI”, *MITSloan Management Review*, 15. Oktober, <https://sloanreview.mit.edu/ai2019> (Abruf: 11. Juni 2020). [71]
- Sage-Gavin, E., M. Vazirani und F. Hintermann (2019), “Getting Your Employees Ready for Work in the Age of AI”, *MIT Sloan Management Review*, 27. Februar, <https://sloanreview.mit.edu/article/getting-your-employees-ready-for-work-in-the-age-of-ai/>. [72]
- Saint-Martin, A., H. Inanc und C. Prinz (2018), “Job Quality, Health and Productivity: An evidence-based framework for analysis”, *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, No. 221, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a8c84d91-en>. [82]

- Schwellnus, C. et al. (2018), "Labour share developments over the past two decades: The role of technological progress, globalisation and 'winner-takes-most' dynamics", *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1503, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/3eb9f9ed-en>. [40]
- Seamans, R. und M. Raj (2018), "AI, Labor, Productivity and the Need for Firm-level Data", *NBER Working Paper*, No. 24239, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <https://dx.doi.org/10.3386/w24239>. [52]
- Sengenberger, W. (1987), *Struktur und Funktionsweise von Arbeitsmärkten: Die Bundesrepublik Deutschland im internationalen Vergleich*, Campus Verlag, Frankfurt/Main, <https://www.isf-muenchen.de/pdf/isf-archiv/1987-sengenberger-struktur-arbeitsmarkt.pdf>. [59]
- TNO (2018), *Emergent risks to workplace safety; Working in the same space as a cobot*, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, Den Haag, <https://publications.tno.nl/publication/34627026/je8DYe/TNO-2018-R10742.pdf>. [94]
- Toney, A. und M. Flagg (2020), "U.S. Demand for AI-Related Talent", CSET Data Brief, August, Center for Security and Emerging Technology, <https://doi.org/10.51593/20200027>. [69]
- Ultimate Software (2018), "Sentiment Analysis and The Future of Work", White Paper, Ultimate Software Group Inc., <http://ultimarketingweb.blob.core.windows.net/static/pdf/whitepapers/sentiment-analysis-and-the-future-of-work.pdf>. [62]
- Van den Broek, E. (2017), "Monitoring technology in the workplace", *EU-OSHA Discussion papers*, EU-OSHA, Bilbao. [108]
- Villani, V. et al. (2018), "Survey on human-robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications", *Mechatronics*, Vol. 55, S. 248-266, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>. [88]
- Webb, M. (2020), "The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market", Paper, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3482150>. [23]
- Wilson, H., P. Daugherty und N. Morini-Bianzino (2017), "The Jobs That Artificial Intelligence Will Create", *MITSloan Management Review*, 23. März, <http://mitsmr.com/2odREFJ> (Abruf: 17. Januar 2020). [61]
- Woodcock, J. (2016), *Working the Phones: Control and resistance in call centres*, Pluto Press, London, <https://www.plutobooks.com/9780745399065/working-the-phones/>. [110]
- Wright, R. (2019), "Workplace automation: How AI is coming for your job", *Financial Times*, 29. September, <https://www.ft.com/content/c4bf787a-d4a0-11e9-a0bd-ab8ec6435630>. [74]
- Yamamoto, I. (2019), "The impact of AI and information technologies on worker stress", *VoxEU*, 11. März, <https://voxeu.org/article/impact-ai-and-information-technologies-worker-stress>. [80]
- Zeng, M. (2018), "Alibaba and the Future of Business", *Harvard Business Review*, September-Oktober, S. 88-96, <https://hbr.org/2018/09/alibaba-and-the-future-of-business> (Abruf: 18. August 2020). [34]

Zhang, H., S. Feinzig und H. Hemmingham (2018), "Making Moves: Internal Career Mobility and the Role of AI", White Paper, IBM Corporation, Armonk, ^[103]
<https://www.ibm.com/downloads/cas/X2O7V1OD>.