ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Krzywdzinski, Martin; Wotschack, Philip; Vladova, Gergana; Gronau, Norbert

Book Part — Published Version

Ironies of automation revisited. Eine experimentelle Studie zur Mensch-Technik-Interaktion bei der Arbeit mit autonomen Systemen

Provided in Cooperation with:
WZB Berlin Social Science Center

Suggested Citation: Krzywdzinski, Martin; Wotschack, Philip; Vladova, Gergana; Gronau, Norbert (2024) : Ironies of automation revisited. Eine experimentelle Studie zur Mensch-Technik-Interaktion bei der Arbeit mit autonomen Systemen, In: Pfeiffer, Sabine Nicklich, Manuel Henke, Michael Heßler, Martina Krzywdzinski, Martin Schulz-Schaeffer, Ingo (Ed.): Digitalisierung der Arbeitswelten: Zur Erfassbarkeit einer systemischen Transformation, ISBN 978-3-658-44458-7, Springer VS, Wiesbaden, pp. 477-502, https://doi.org/10.1007/978-3-658-44458-7_22

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/311861

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

CC BY https://creativecommons.org/licenses/by/4.0

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Ironies of automation revisited. Eine experimentelle Studie zur Mensch-Technik-Interaktion bei der Arbeit mit autonomen Systemen

Martin Krzywdzinski, Philip Wotschack, Gergana Vladova und Norbert Gronau

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag diskutiert den Umgang mit dem Problem der „ironies of automation“ in Industrie-4.0-Konzepten. Das Problem dieser „ironies“ liegt darin, dass sich bei der Arbeit mit autonomen technischen Systemen für die Beschäftigten die Möglichkeiten für direktes Feedback und Lernen reduzieren, während zugleich im Fall von Systemproblemen der Bedarf an menschlicher Problemlösungskompetenz zunimmt. In Industrie-4.0-Konzepten wird die Lösung oftin der Nutzung von Assistenzsystemen gesucht. Der vorliegende Beitrag untersucht, inwieweit holistisches Prozesswissen der Beschäftigten beim Einsatz von Assistenzsystemen wichtig bleibt und die Produktivität und Wahrnehmung der Arbeitsqualität beeinflusst. Konzeptionell schließt die Analyse an die Forschung über die Bedeutung von Arbeitsprozesswissen sowie

M. Krzywdzinski (✉)
Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialwissenschaften, Berlin, Deutschland
E-Mail: martin.krzywdzinski@wzb.eu

P. Wotschack · G. Vladova
Weizenbaum-Institut, Berlin, Deutschland
E-Mail: philip.wotschack@weizenbaum-institut.de

G. Vladova
E-Mail: gergana.vladova@wi.uni-potsdam.de

N. Gronau
Universität Potsdam, Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme, Potsdam, Deutschland
E-Mail: ngronau@lswi.de

© Der/die Autor(en) 2024

S. Pfeiffer et al. (Hrsg.), *Digitalisierung der Arbeitswelten,*
https://doi.org/10.1007/978-3-658-44458-7_22

an konstruktivistische Lernansätze an. Methodologisch wird ein experimentelles Forschungsdesign genutzt und erprobt. Die Ergebnisse zeigen, dass holistisches Prozesswissen sogar im Bereich einfacher Maschinenbedienung einen Mehrwert hat und zu weniger Fehlern und einer höheren Produktivität führt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass digitale Assistenzsysteme allein nicht ausreichen, um die „ironies of automation“ zu beherrschen.

Schlüsselwörter

Automatisierung • Industrie 4.0 • Assistenzsysteme • Lernen • Qualifizierung • Experimentelle Forschungsdesigns

1 Einleitung

In der gegenwärtigen Phase der Digitalisierung der Wirtschaft nimmt in vielen Bereichen der Einsatz autonomer technologischer Systeme zu. Ein besonders prägnantes Beispiel ist der Autopilot im Flugzeug, allerdings finden sich Systeme mit einem relativ hohen Grad an Autonomie auch in der Produktion oder der Logistik. Die Entwicklung dieser autonomen Systeme bedeutet aber nicht, dass menschliche Arbeit verschwindet (Autor 2015; Hirsch-Kreinsen und Karacic 2019; Krzywdzinski 2021). Menschliche Arbeit bleibt zentral, oftmals als Gewährleistungsarbeit bei der Maschinenbedienung, Überwachung, Steuerung und Problemlösung, aber auch als Einfacharbeit in Logistik- oder Montageprozessen. Mit zunehmender Komplexität autonomer Technologie wird ihre genaue Funktionsweise für die Mitarbeiter*innen, die für Betrieb, Wartung und Fehlerbehebung zuständig sind, immer schwieriger zu erfassen. Dieses allgemeine Problem beim Einsatz autonomer Systeme wird in der Forschung seit Längerem als „ironies of automation“ (Bainbridge 1983; Baxter et al. 2012) beschrieben. Der Bedarf an Wissen und Verständnis komplexer und abstrakter Prozesse wächst, während sich die Möglichkeiten für direktes Feedback und Lernen verringern.

In der Diskussion über die Digitalisierung und Industrie 4.0 wird die Lösung dieses Problems oftmals in der Technologie selbst gesucht: „Smarte“ Assistenzsysteme sollen die Mitarbeiter*innen bei der Problemlösung anleiten und gehören zu den Hauptentwicklungs- und Anwendungsfeldern von Industrie-4.0-Technologien (Reinhart et al. 2017; Hirsch-Kreinsen et al. 2018; Falkenberg 2021; Krzywdzinski et al. 2022b).

Im Folgenden wollen wir diesen rein technischen Ansatz infrage stellen. Wir diskutieren und reflektieren am Beispiel der Arbeit in der Maschinenbedienung, inwieweit beim Umgang mit autonomen Systemen trotz der Nutzung von Assistenzsystemen holistisches Prozesswissen der Beschäftigten wichtig bleibt und

die Produktivität und Wahrnehmung der Arbeitsqualität beeinflusst. Konzeptionell schließt unsere Argumentation an die Forschung über die Bedeutung von Arbeitsprozesswissen (Fischer 2000; Böhle 2004) sowie an konstruktivistische Lernansätze (Loyens und Gijbels 2008) an. Unsere Ergebnisse zeigen, dass holistisches Prozesswissen sogar im Bereich einfacher Maschinenbedienung sowie bei der Nutzung von Assistenzsystemen einen Mehrwert hat und zu weniger Fehlern und einer höheren Produktivität führt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass digitale Assistenzsysteme allein nicht ausreichen, um die „ironies of automation" zu beherrschen.

Wir wollen die Vorstellung der Projektergebnisse zugleich dafür nutzen, die Verwendung experimenteller Laborstudien für die soziologische Arbeits- und Technikforschung zu reflektieren. Der vorliegende Artikel wurde von einem interdisziplinären Team aus den Feldern der Soziologie und der Wirtschaftsinformatik geschrieben, er adressiert aber vor allem die soziologische Diskussion, in der – anders als in der Wirtschaftsinformatik (genauso wie in den Wirtschaftswissenschaften und der Psychologie) – experimentelle Verfahren bislang nicht sehr verbreitet sind und sich auf Ansätze wie Vignettenexperimente konzentrieren (Jackson und Cox 2013). Gegenüber Laborexperimenten werden verschiedene Einwände vorgebracht, die auf Probleme des fehlenden Kontexts, der Selektion der Proband*innen sowie der realitätsgerechten Gestaltung der Treatments und der Beobachtungssituation hinweisen (Levitt und List 2007; Edwards 2012). Wir betrachten diese Probleme genauer, argumentieren aber auf Basis unserer Erfahrungen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit, dass klassische, auf Beobachtungsdaten beruhende Forschungsdesigns in der soziologischen Arbeitsforschung sinnvoll durch experimentelle Studien ergänzt werden können (vgl. auch Edwards 2012).

Für unser Projekt haben wir im Labor des Forschungs- und Anwendungszentrums Industrie 4.0 (FAZI) an der Universität Potsdam die Arbeitsprozesse unter produktionsähnlichen Bedingungen simuliert. Da es bislang in der Arbeitssoziologie kaum Erfahrungen mit Laborexperimenten gibt, hoffen wir, dass wir durch die Präsentation unserer Strategie bei der Nutzung des Laborexperiments sowie der Möglichkeiten und Grenzen unseres Ansatzes eine Diskussion über den Einsatz dieser Methode anstoßen können.

Im Artikel diskutieren wir zunächst den Forschungsstand zur Entwicklung autonomer Systeme und zum Einsatz von Assistenzsystemen in der Arbeitswelt. Anschließend erörtern wir die Nutzung von Laborexperimenten für die Forschung in diesem Bereich und präsentieren unser Forschungsdesign. Im letzten Teil des Aufsatzes gehen wir auf unsere Forschungsbefunde ein und betrachten diese im Kontext der existierenden Forschung.

2 Forschungsstand

2.1 Autonome Systeme und Lernen

In den letzten Jahren beobachten wir die zunehmende Verbreitung von autonomen, sich selbst regulierenden technischen Systemen. In der Luftfahrtindustrie und der Flugsicherung werden solche Systeme schon lange eingesetzt. Die Erfahrungen in diesem Sektor veranschaulichen die allgemeine Problematik im Zusammenhang mit autonomen Technologien. Da sich die Piloten bei ihrer täglichen Arbeit auf die Systeme verlassen können, ist es für sie sehr schwierig, bei einem plötzlichen Technikausfall das notwendige Problemlösungswissen zu mobilisieren. So führten bei den jüngsten Abstürzen von Boeing-737-Flugzeugen in Indonesien und in Äthiopien fehlerhafte Sensormeldungen zu falschen Reaktionen des Autopiloten, auf die wiederum die menschlichen Piloten falsch reagierten.

Dieses allgemeine Problem beim zunehmenden Einsatz autonomer Technologie wurde in der Forschung als die „ironies of automation“ beschrieben (Bainbridge 1983). Diese betrifft nicht nur Branchen wie die Luftfahrt, sondern ist in vielen Bereichen, von der Finanzwirtschaft bis zur Fertigung, zu beobachten (Baxter et al. 2012). So werden seit einiger Zeit selbstregulierende Systeme wie etwa Produktionslinien, Logistiksysteme, aber auch Überwachungs- und Wartungssysteme entwickelt, sogenannte cyber-physische Systeme (Butollo et al. 2019; Hirsch-Kreinsen und Karacic 2019; Krzywdzinski und Butollo 2022). In der Produktion werden Systeme erprobt, in denen die Werkstücke die Informationen über die notwendigen Produktionsschritte tragen und direkt mit den Maschinen kommunizieren; je nach Situation entscheidet ein System automatisch, welche Maschine gerade frei ist und lenkt den Arbeitsablauf (zur Forschung über die Bestimmung des geeigneten Grades an Autonomie in der Fertigung vgl. Gronau 2019). Bei einem Maschinenausfall springen so beispielsweise automatisch andere Maschinen ein und die Materialflüsse werden entsprechend angepasst. Obwohl die Folgen von Störungen weit weniger gravierend sind als bei Flugzeugabstürzen, stellt sich die gleiche Herausforderung: Einzelne, aber vor allem Teams von Mitarbeiter*innen müssen kurzfristig auf Störungen reagieren, zugleich haben sie aber im Normalablauf der Prozesse kaum die Möglichkeit, die Problemlösung zu erlernen.

Die Verbreitung autonomer Systeme bedeutet nicht, dass menschliche Arbeit verschwindet. Historische wie sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Analysen zeigen, dass trotz zunehmender Automatisierung menschliche Arbeit weiterhin erhalten bleibt (Heßler 2014; Autor 2015; Pfeiffer 2018; Krzywdzinski 2021).

Das hat verschiedene Gründe: Bestimmte Bereiche der manuellen Arbeit am Produkt sind weiterhin schwer automatisierbar; die Gewährleistungsarbeit bei Betrieb und Wartung autonomer Systeme wird wichtiger; der Umfang von Planungs- und Programmierungsarbeiten wächst und schließlich ermöglichen die technologischen Entwicklungen auch neue Produkte.

Die zunehmende Autonomie (und auch Komplexität) der Technik bringt es mit sich, dass ihr genaues Funktionieren für Beschäftigte, die für Betrieb, Wartung und Fehlersuche zuständig sind, immer schwieriger zu begreifen ist. Der Bedarf an Wissen und Verständnis für komplexe und abstrakte Prozesse steigt (Berger und Frey 2015), während die Möglichkeit für direktes Feedback und Lernen abnimmt. Das liegt zum einen daran, dass sich der Bedarf an Interventionen durch die Beschäftigten im alltäglichen Regelbetrieb autonomer Systeme reduziert und es dadurch weniger Möglichkeiten gibt, den Umgang mit Problemen zu üben. Zum anderen neigen die Beschäftigten bei der Arbeit mit autonomen Systemen dazu, der Technik Verantwortung und Handlungsfähigkeit zuzuschreiben (Fink und Weyer 2011). Dies kann dazu führen, dass Beschäftigte die Grenzen der Technik nicht reflektieren und somit den Bedarf an eigenem Handeln unterschätzen. Insgesamt verändert sich die Konstellation verteilten Handelns zwischen Mensch und Technik, wie Schulz-Schaeffer und Rammert (2019) es formulieren.

In der Analyse der Entwicklung von Handlungsfähigkeit im Umgang mit autonomen Systemen hat die arbeitssoziologische Forschung auf die Bedeutung von Erfahrungswissen und von Arbeitsprozesswissen hingewiesen, und zwar selbst in Bereichen, die von stark standardisierter Arbeit geprägt sind (Hirsch-Kreinsen 2016; Pfeiffer 2016). Pfeiffer (2004) argumentiert, dass auch in stark standardisierten und automatisierten Arbeitsbereichen die Beschäftigten ein diversifiziertes Arbeitsvermögen benötigen, das neben der Ausführung von Arbeitsaufgaben auch Problemlösungs-, Improvisations- oder Kommunikationsfähigkeiten umfasst. Trotz aller Fortschritte der Automatisierung und damit auch der technischen Planung erzeugt die Komplexität der Interaktion unterschiedlicher Prozesse im und außerhalb des Betriebs sowie der Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure im Betrieb immer auch Unplanbarkeiten (Böhle 2004). Diese äußern sich auf vielfältige Weise: als technische Störungen, als Störungen von Lieferketten, als personalbezogene Probleme und vieles andere. Ihre schnelle Lösung erfordert von den Beschäftigten Arbeitsprozesswissen, das heißt das Wissen um die vielfältigen Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Prozessschritten, betrieblichen Bereichen und Akteuren (Fischer 2000).

Diese Argumente der Arbeitssoziologie lassen sich mit Ansätzen der Lernforschung im Feld der Wirtschaftsinformatik verknüpfen, insbesondere mit dem sogenannten konstruktivistischen Ansatz (Bada 2015). In Anlehnung an diesen

wollen wir im Folgenden zwei Arten von Lernen unterscheiden. Wir bezeichnen die erste Art des Lernens als holistisch und prozessorientiert. Sie beruht auf dem Kerngedanken des konstruktivistischen Lernansatzes, wonach „Wissen vom Lernenden aktiv konstruiert wird“ (Loyens und Gijbels 2008). Dafür sind Möglichkeiten der aktiven Aneignung durch Erfahrungen sowie eines breiteren Horizonts von Informationen erforderlich, sodass die lernende Person ein Verständnis für die spezifischen Arbeitsschritte entwickeln kann (vgl. Blumenfeld 1992; Kolb und Kolb 2005; Kluge 2007; Gardner und Thielen 2015). Der konstruktivistische Ansatz betont auch die Rolle des Eigeninteresses und der Motivation für das erfolgreiche Lernen, die wiederum mit einer Lernumgebung zusammenhängen, die nicht nur auf die Internalisierung isolierter Arbeitsschritte reduziert ist (Forbes et al. 2001; Loyens und Gijbels 2008). Menschen lernen am besten, wenn sie Wissen kontextualisieren können (Ally 2005).

Demgegenüber begrenzt sich die zweite Art des Lernens darauf, von den Menschen die passive Internalisierung einer bestimmten Abfolge von Arbeitsschritten zu verlangen, ohne Informationen einzubeziehen, die über diesen Zusammenhang hinausgehen. Wir werden im Folgenden diese Form als behavioristisches Lernen bezeichnen. Diese restriktive Art des Lernens ist häufig im Bereich der geringqualifizierten Arbeit in der Logistik und Montage zu finden, wo es um die Beherrschung eines sehr begrenzten Arbeitsumfangs geht.

Wir können davon ausgehen, dass ein restriktives und behavioristisches Lernen isolierter Arbeitsschritte für den Umgang mit autonomen Systemen geringere Lernerfolge zeigt, da die Motivationswirkung begrenzt ist, Kontextinformationen sowie Möglichkeiten der aktiven Entwicklung von Wissen fehlen. Für die Arbeit mit autonomen Systemen lässt sich ein großer Bedarf an holistischem, prozessorientiertem Lernen erwarten, mit dem eine höhere Lernmotivation und aktive Wissensentwicklung erreicht wird. Dem entspricht auch die Praxis, etwa im Bereich der Luftfahrt, in der Handlungsfähigkeit in komplexen Simulationen eingeübt wird (Weyer 2007).

2.2 Assistenzsysteme als Lösung?

In der Diskussion über Industrie-4.0-Konzepte wird die Lösung der „ironies of automation“ oft in der Technik selbst gesucht: Assistenzsysteme sollen die Beschäftigten bei der Fehlerbehebung anleiten, Einarbeitungszeiten verkürzen und mangelnde Erfahrung kompensieren. Sie sollen Prozesse standardisieren und Fehler reduzieren (Reinhart et al. 2017). Solche Assistenzsysteme geben bei

Montage- und Logistikprozessen die Abfolge der Arbeitsschritte vor, informieren über die Arbeitsschritte und kontrollieren die Ausführung (Apt et al. 2018; Kuhlmann et al. 2018; Falkenberg 2021; Krzywdzinski 2022b). Im Bereich der Instandhaltung liefern Assistenzsysteme Informationen über Anlagen, potenzielle Fehlerursachen und Lösungswege (Acatech 2015; Baethge-Kinsky et al. 2018). Zudem werden Assistenzsysteme in Schulungs- und Ausbildungsprozessen (Lernassistenten) oder der Sachbearbeitung eingesetzt, etwa im Kundenmanagement.

In der Forschung werden die Auswirkungen des Einsatzes von Assistenzsystemen sehr unterschiedlich bewertet. Insbesondere in Bereichen wie Montage und Logistik dominieren rigide Systeme, die Arbeitsschritte vorschreiben und teilweise kontrollieren und so zur weiteren Standardisierung und Taylorisierung der Arbeit beitragen. Es gibt aber durchaus auch Fälle einer flexibleren Gestaltung, bei der die Beschäftigten selbst entscheiden können, inwieweit sie den Vorschlägen des Assistenzsystems folgen (Krzywdzinski et al. 2022b). Zumeist besteht das Ziel aber darin, menschliche Fehlerquellen zu reduzieren, selbst wenn dadurch die Handlungsfähigkeit von Beschäftigten weiter eingeschränkt und somit auch ihre Problemlösungs- und Reaktionsfähigkeit bei Störungen reduziert wird. Die Beschäftigten wiederum nehmen die Systeme teilweise als Entlastung wahr (Kuhlmann et al. 2018; Krzywdzinski et al. 2022b), aber auch als eine erhebliche Einschränkung (Walker 2017; Falkenberg 2021). Insbesondere jene Beschäftigte, die die Systeme als Einschränkung sehen, weisen auf Dysfunktionalitäten hin: Die Befolgung der vorgeschriebenen Arbeitssequenzen geht manchmal mit Zeitverlusten einher und erschwert die Verbesserung der Arbeitsabläufe sowie die Reaktion auf sich wiederholende und unplanbare Abweichungen vom Standardablauf. Daher kommt es immer wiedervor, dass Beschäftigte Assistenzsysteme ignorieren oder umgehen (Walker 2017; Kuhlmann et al. 2018).

In Bereichen, die stärker von Facharbeit geprägt sind, wie die Instandhaltung, sind Assistenzsysteme eher als Unterstützung gestaltet, die von den Arbeitskräften bei Bedarf eingesetzt werden kann (z. B. Baethge-Kinsky et al. 2018). Bislang sind diese Systeme in einem frühen Entwicklungsstadium und können nur begrenzt den vielfältigen Anforderungen, Problemen und Lösungswegen gerecht werden, die in diesen Bereichen vorkommen (Müller et al. 2019; Keller et al. 2022).

Um die Anforderungen der Beschäftigten bei der Gestaltung und Implementierung der Assistenzsysteme zu berücksichtigen (etwa im Hinblick auf die Flexibilität des Einsatzes, Datenschutz etc.), ist zudem eine frühe Einbeziehung der Betriebsräte zentral (Klippert et al. 2018; Krzywdzinski et al. 2022a).

Auch zu den Auswirkungen des Einsatzes von Assistenzsystemen auf Produktivität und Qualität ist die Forschungslage disparat. Relativ einheitlich berichten Studien, dass durch den Einsatz von Assistenzsystemen Fehler im Arbeitsprozess verringert werden (Tang et al. 2004; Reif und Günthner 2009; Klippert et al. 2018; Roth et al. 2020; Krzywdzinski et al. 2022b). Hinsichtlich der Produktivität sind die Befunde dagegen ambivalent. Manche Fallstudien berichten von Zeiteinsparungen (Reif und Günthner 2009; Krzywdzinski et al. 2022b), andere weisen darauf hin, dass die Starrheit der Assistenzsysteme zu Produktivitätseinbußen führen kann, weil es den Beschäftigten dadurch schwer fällt, auf Basis ihres Erfahrungswissens Arbeitsprozesse zu optimieren (vgl. Kuhlmann et al. 2018). Mark et al. (2020) haben den Einsatz von bildschirmbasierten Assistenzsystemen in Montageprozessen in einem Laborexperiment getestet. Dabei wurde ein Montageprozess einmal klassisch papierbasiert beschrieben und einmal bildschirmbasiert mit einem Assistenzsystem, das Schritt für Schritt durch die Montage leitet. Während die Probanden mit dem digitalen Assistenzsystem zunächst schneller arbeiteten, zeigten die Probanden mit der papierbasierten Prozessbeschreibung langfristig die höhere Produktivität. Diese zweite Gruppe konnte nach wenigen Schritten den Arbeitsprozess durch die aktive Aneignung der Prozessbeschreibung selbst optimieren, während die erste Gruppe dem standardisierten Assistenzsystem folgen musste.

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass die Produktivität und Qualität der Arbeitsausführung von der Gestaltung des Assistenzsystems abhängen. Die vorliegenden Studien deuten allerdings darauf hin, dass es auch Grenzen gibt, die „ironies of automation“ mithilfe von Assistenzsystemen aufzulösen. Studien aus dem Bereich der Instandhaltung unterstreichen, dass menschliches Prozesswissen nach wie vor notwendig ist (Baethge-Kinsky et al. 2018), selbst bei stark standardisierten Arbeitsprozessen, etwa in der Montage (Kuhlmann et al. 2018). Daher wird in der aktuellen sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen Debatte und Forschung hervorgehoben, dass Bildungssysteme, Lernformen und Bildungsanreize an diese Bedarfe angepasst werden müssen (z. B. Berger und Frey 2015; Cedefop 2015).

Die bisherigen Studien rekonstruieren Arbeitsprozesse allerdings vor allem mithilfe von Interviews und (in einzelnen Fällen) Arbeitsplatzbeobachtungen. Die zum Teil sehr unterschiedlichen betrieblichen Kontexte, Arbeitsprozesse sowie Gestaltungs- und Implementierungsformen beim Einsatz der Assistenzsysteme begrenzen dabei die Möglichkeiten, deren Auswirkungen präzise zu erfassen und zu vergleichen. Wie sich Arbeitsabläufe ändern, wenn das menschliche Prozesswissen abnimmt, ist so schwer zu analysieren. Inwieweit kann das Fehlen von Prozesswissen durch Assistenzsysteme kompensiert werden? Wie wirken

sich Assistenzsysteme auf den Erwerb von Prozesswissen und damit auf die Handlungsfähigkeit bei der Arbeit mit autonomen Systemen aus?

Für die Beantwortung dieser Fragen bietet sich an, Fallstudien mit experimentellen Analysen zu verknüpfen. Wir stellen im Folgenden ein Pilotprojekt vor, in dem ein experimentelles Design für diese Fragen entwickelt und umgesetzt wurde.

3 Laborexperiment als Methode

3.1 Laborexperimente in der soziologischen Forschung

Das Ziel unseres Projekts war es, die Bedeutung von holistischem Prozesswissen zu untersuchen, wenn Menschen mit autonomen Systemen arbeiten und dabei von Assistenzsystemen angeleitet werden. Wir wollten wissen, wie sich die Vermittlung von Prozesswissen auf den Arbeitsprozess auswirkt, und zwar konkret auf Produktivität und Qualität der Arbeitsausführung, aber auch auf die Wahrnehmung der Arbeit mit dem Assistenzsystem. Damit sollten die Befunde der bisherigen, weitgehend auf Fallstudien und Interviews beruhenden Forschung mit einem experimentellen Ansatz gespiegelt bzw. verknüpft werden (komplementärer Ansatz). Zugleich war es unser Ziel, die Möglichkeiten experimenteller Laborstudien für soziologische Fragestellungen zu erproben und die Potenziale einer interdisziplinären Zusammenarbeit mit der Wirtschaftsinformatik, die über umfangreiche Erfahrungen mit Laborexperimenten verfügt, sichtbar zu machen.

Anders als in der Psychologie, der Wirtschaftsinformatik, den Wirtschafts- und Politikwissenschaften, wo Laborexperimente teilweise schon lange üblich sind (Druckman et al. 2011; Jackson und Cox 2013), wird dieses Vorgehen in der Arbeitssoziologie bisher kaum genutzt. In der Arbeitssoziologie werden vielfältige qualitative und quantitative Methoden angewendet, die oftmals in eine Fallstudienstrategie eingebettet werden (vgl. Pflüger et al. 2010). Wie Pongratz und Trinczek (2010) illustrieren, gibt es zwar unterschiedliche Verständnisse der Fallstudienstrategie, dennoch haben sie wichtige Charakteristika gemein. Sie beziehen sich immer auf den Kontext eines bestimmten Unternehmens, Betriebs oder Arbeitsprozesses und sind multiperspektivisch angelegt, das heißt, sie rekonstruieren die untersuchten Phänomene aus der Sicht verschiedener relevanter Akteure (Pflüger et al. 2010, S. 31). Kontext und Multiperspektivität werden als wichtige Aspekte angesehen, um das Verhalten betrieblicher Akteure in Abhängigkeit von folgenden spezifischen Bedingungen zu untersuchen und zu verstehen:

1. der Materialität des Arbeitsprozesses, seinen Anforderungen und Inhalten;
2. den betrieblichen Macht- und Sozialbeziehungen, also Beziehungen zwischen Vorgesetzten und Beschäftigten, unter den Beschäftigten und kollektive Arbeitsbeziehungen zwischen Gewerkschaft (bzw. Betriebsrat) und Management;
3. den spezifischen Erwerbsbiografien der Beschäftigten, ihren Qualifikationen, Berufsverständnissen und weiteren Faktoren.

Diese Kontextbedingungen lassen sich nicht einfach im Labor replizieren. In einem einflussreichen Aufsatz hatten Levitt und List (2007) argumentiert, dass sich die Rolle von Laborexperimenten in den Sozialwissenschaften von den Naturwissenschaften unterscheiden muss. Während in den Naturwissenschaften angenommen werden kann, dass im und außerhalb des Labors die gleichen Naturgesetze gelten, müssen Sozialwissenschaften berücksichtigen, dass das menschliche Verhalten in beiden Umgebungen unterschiedlichen prägenden Faktoren unterworfen ist. Levitt und List identifizierten vier Faktoren:

1. *Die Art und Intensität der Beobachtung des Verhaltens durch andere:* Im Labor sind sich Proband*innen bewusst, dass ihr Verhalten genau dokumentiert wird; zugleich gibt es zwischen den Proband*innen oftmals keine Beziehungen. Dies unterscheidet sich von manchen sozialen Kontexten in der realen Welt, in denen das Verhalten anonym ist und nicht beobachtet wird (z. B. Finanzmärkte). In anderen sozialen Kontexten gibt es wiederum zwischen den handelnden Personen enge Beziehungen.
2. *Die (Selbst-)Selektion der Proband*innen:* In Experimenten werden nur bestimmte soziale Gruppen, oftmals Studierende, als Proband*innen rekrutiert. Dies unterscheidet sich deutlich von der realen Welt.
3. *Die Bedeutung des Treatments und des resultierenden Verhaltens für die Personen:* Entscheidungen in der realen Welt können massive Auswirkungen für die Personen haben, während sich die Proband*innen immer des Spielcharakters von Experimenten bewusst sind. Das hängt auch mit dem Zeithorizont des Verhaltens zusammen. Die Experimente sind oftmals relativ kurz, während die sozialen Kontexte in der realen Welt häufig länger bestehen.
4. *Der Kontext des Verhaltens:* Die bisherigen Erfahrungen der Personen, Wahrnehmungs- und Interpretationsmuster und auch die von ihnen gelernten sozialen Normen spielen in der realen Welt eine große Rolle und beeinflussen auch das Verhalten in Experimenten, allerdings in einer unkontrollierbaren Form.

Einzelne dieser Probleme treten nicht nur bei Laborexperimenten, sondern auch bei der Analyse von Beobachtungsdaten auf. Wenn Akteure befragt werden, gibt es immer das Problem sozial erwünschter Antworten (Donaldson und Grant-Vallone 2002). Auch bei Arbeitsplatzbeobachtungen wird das Verhalten durch die Beobachtung selbst beeinflusst. Das Problem der Selektion von Respondent*innen tritt auch bei Befragungen auf.

Die Bedeutung des Treatments und des Kontexts sind für Laborexperimente besonders problematisch und werden gemeinsam mit den Selektionsproblemen für das Fehlen externer Validität verantwortlich gemacht. Es wird argumentiert, dass es deshalb unmöglich ist, Befunde aus Laborexperimenten in die reale Welt zu übertragen. Allerdings verweist McDermott (2011) im Anschluss an Aronson et al. (1990) darauf, dass keine einzige empirische Studie (also weder Laborexperimente noch andere Formen empirischer Forschung) den Anspruch der Generalisierbarkeit erheben kann. Externe Validität und das Potenzial für Generalisierbarkeit ergeben sich vielmehr aus einer überzeugenden Formulierung des theoretischen Zusammenhangs sowie einer empirischen Replikation des Zusammenhangs in vielen anderen Kontexten und dementsprechend in vielen Studien.

Folglich argumentieren Levitt und List (2007) nicht gegen, sondern für eine vorsichtige Nutzung von Laborexperimenten. Auch der Arbeitssoziologe Edwards (2012) plädiert für eine Öffnung soziologischer Forschung und die Kooperation mit experimentellen Ansätzen aus den Wirtschaftswissenschaften. In seinem zu Unrecht nur wenig beachteten Text diskutiert er systematisch die Verwandtschaft, aber auch die Unterschiede von Forschungsbefunden der Soziologie und der experimentellen Wirtschaftswissenschaften. Er betont, dass Experimente ein nützliches Werkzeug für die kontrollierte Erforschung von sozialen Normen und sozialem Verhalten sein können, wobei er insbesondere Feldexperimente (viel stärker als Laborexperimente) für die soziologische Forschung geeignet sieht. Seine Begründung ist allerdings auch auf Laborexperimente übertragbar. Anknüpfend an Levitt und List (2007) sowie Edwards (2012) lassen sich drei Empfehlungen für eine sinnvolle Nutzung von Laborexperimenten für sozialwissenschaftliche Fragestellungen festhalten.

Erstens sollten Unterschiede in den Handlungsbedingungen im Labor und in der realen Welt systematisch reflektiert werden. Edwards (2012) betont, dass Kontexte sehr stark variieren, und zwar nicht nur zwischen unterschiedlichen Betrieben und Arbeitsprozessen, sondern auch in der zeitlichen Abfolge innerhalb der gleichen Betriebe und Arbeitsprozesse. Die gleichen Mechanismen können unterschiedliche Auswirkungen in unterschiedlichen Kontexten haben. Dies

spricht dafür, über Kontexte systematisch nachzudenken und nicht dem insbesondere in der Verhaltensökonomie dominierenden Trend zu möglichst abstrakten Experimentdesigns zu folgen. Nach Edwards (2012) sind soziale Normen nicht einfach als vereinbarte Verhaltensregeln zu begreifen, sondern entstehen und wandeln sich in Kontexten von Macht, Ungleichheit und Konflikt – das gilt vor allem auch für betriebliche Arbeitsprozesse. Die Entwicklung experimenteller Designs sollte darauf ausgerichtet sein, relevante Kontextfaktoren (Machtbeziehungen, Unterschiede von Erwerbsbiografien etc.) in den Experimenten abzubilden.

Zweitens sollten nach Möglichkeit unterschiedliche Experimentdesigns ausprobiert werden, um die Robustheit der Ergebnisse gegenüber Veränderungen des Designs zu prüfen. Das Framing der Experimente beeinflusst das Verhalten der Akteure. Zudem muss vermieden werden, die beobachteten Verhaltensweisen per se als dauerhaft anzusehen und zu „psychologisieren", also individuellen Präferenzen, Haltungen oder Eigenschaften zuzuschreiben (Edwards 2012). Experimente, in denen soziale Interaktionen (etwa Teamkonstellationen) abgebildet sind, sind realitätsnäher als Experimente, in denen die Proband*innen isoliert handeln.

Drittens sollten Schlussfolgerungen nicht allein aus Ergebnissen von Laborexperimenten, sondern immer im Abgleich mit Beobachtungsdaten entwickelt werden (Jackson und Cox 2013; Kessler und Vesterlund 2015). Mittlerweile gibt es verschiedene Studien, die die Ergebnisse von Laborexperimenten in den Wirtschaftswissenschaften, der Psychologie oder der Politikwissenschaft mit Befunden empirischer Untersuchungen in der realen Welt vergleichen. Und viele Befunde experimenteller Studien lassen sich zumindest im Hinblick auf die Richtung des Effekts bestätigen – aber eben längst nicht alle (vgl. Armantier und Boly 2008; Mitchell 2012). Generalisierbarkeit entsteht erst aus der Replizierung von Befunden durch unterschiedliche Methoden und in unterschiedlichen Kontexten. Edwards (2012) empfiehlt, Experimente mit Befragungen zu verbinden. Er betont, dass aus soziologischer Sicht „reasons are causes" (Edwards 2012, S. 307). Es ist sinnvoll, Personen zu ihren Handlungsmotiven in den Experimenten zu befragen.

3.2 Das genutzte Experimentdesign

In der Gestaltung unseres Experiments spiegeln sich zumindest einige der hier genannten Empfehlungen. Wir konnten das Labor im Forschungs- und Anwendungszentrum Industrie 4.0 nutzen, das eine wirkliche Simulation von Arbeitsprozessen an einer physischen Produktionslinie und die Immersion der Proband*innen in das Experiment erlaubt. Damit unterscheidet es sich von den

üblichen Computerlaboren in der psychologischen und verhaltensökonomischen Forschung, die vor allem aus Computerarbeitsplätzen bestehen und das Verhalten von Menschen anhand von Eingaben am Computer (und teilweise anhand von Eye Tracking und der Beobachtung von Bewegungen bei der Eingabe von Daten) erheben.

Das Experimentdesign wurde federführend von Gergana Vladova und Philip Wotschack im Austausch mit Martin Krzywdzinski, Norbert Gronau, Patricia Paiva de Lareiro und Christoph Thim entwickelt (vgl. Vladova et al. 2020; Wotschack et al. 2023). Im Labor wurde eine Produktionslinie mit zwei unabhängigen Arbeitsstationen aufgebaut, an denen jeweils eine Fräsanlage simuliert wurde, um Komponenten für künstliche Kniegelenke zu produzieren. Aus Kostengründen verwendeten wir dafür Teile eines Settings, das für ein anderes Projekt entwickelt worden war. Alle Proband*innen hatten eine Auftragsliste abzuarbeiten. Der Arbeitsprozess begann mit dem Abholen des jeweils auf der Auftragsliste angegebenen Werkstücks von einem Tisch gegenüber der Produktionsanlage, der in der Simulation das Lager darstellte. Das Werkstück wurde durch einen mit Bildschirmen versehenen Kubus symbolisiert, wobei die Bildschirme den jeweiligen Bearbeitungszustand des Werkstücks anzeigten. Das Werkstück musste in die Produktionsanlage eingelegt und die in der Auftragsliste genannten Bearbeitungsparameter eingegeben werden. Der Bearbeitungsvorgang war dann zu starten. Nach seinem Ende war die Richtigkeit der Bearbeitung zu prüfen. Auf dem Bildschirm des Kubus war das nach dem Bearbeitungsvorgang veränderte Werkstück zu sehen. Fehlerhafte Eingaben oder das Einlegen falscher Werkstücke führten zu Fehleranzeigen bzw. fehlerhaften Werkstücken. Anschließend wurde das Werkstück wieder zum Tisch (Warenlager) gebracht und das nächste Werkstück abgeholt. Die Proband*innen hatten ein Tablet, auf dem ein Assistenzsystem jeden Schritt mit Anweisungen begleitete, die die Proband*innen ausführten und bestätigten.

Das Experiment dauerte zwei Stunden. Nach einer kurzen Einweisung folgten ein Probedurchlauf und anschließend die im Rahmen des Experiments gemessene Produktionsphase, wobei die Proband*innen zuerst drei Werkstücke mit dem Assistenzsystem herstellten und anschließend ohne das Assistenzsystem arbeiteten. Die Anzahl der insgesamt angefertigten Werkstücke galt als Indikator für die Produktivität. Das Ausmaß von Fehlern bei der Bearbeitung wurde als Grundlage für den Qualitätsindikator genommen: Dabei wurde für jedes Werkstück berechnet, wie stark die jeweiligen Eingaben und die Bedienung der Maschinen von einer optimalen Sequenz der Arbeitsausführung abwichen. Festgehalten wurde zudem, wie oft das Assistenzsystem genutzt wurde (Anzahl der Betätigungen

Abb. 1 Experimentsetting. (Quelle: Autor*innen. Foto zeigt vom Laborteam gestelltes Experimentsetting)

der „Help"-Taste). Die Proband*innen wussten, dass die Produktivität und Qualität ihrer Arbeit gemessen werden. Abgesehen von einer Aufwandsvergütung gab es keine zusätzlichen Anreize für eine höhere Produktivität oder Qualität. Im Anschluss an das Experiment füllten die Proband*innen einen standardisierten Fragebogen zu demografischen Informationen, der erlebten Zufriedenheit und dem Stress während des Experiments aus. Teil des Fragebogens war zudem eine Bewertung des Assistenzsystems sowie eine Abfrage der wahrgenommenen Selbstwirksamkeit. Die folgende Abb. 1 zeigt ein Foto des Experimentsettings.

Bei dem Experiment interessierte uns insbesondere die Gestaltung der Anlernprozesse. Wir unterschieden dabei zwei Herangehensweisen: erstens eine kurze, auf die auszuführenden Arbeitsschritte konzentrierte Einweisung, die der Idee des behavioristisches Lernens folgte, und zweitens eine längere, auf das Verständnis des gesamten Arbeitsprozesses ausgerichtete Einweisung, die der Idee des konstruktivistischen Lernens entspricht.

Unsere Erwartung war, dass behavioristisches Lernen zwar schnell zu guten Arbeitsergebnissen führt, aber langfristig eine höhere Produktivität erschwert. Diese Form des Lernens bleibt passiv. Die Proband*innen können nicht auf Wissen über den Gesamtprozess zurückgreifen, um das vom System bereitgestellte Aufgabenwissen zu kontextualisieren und so aktiv den eigenen Arbeitsablauf zu optimieren. Wir gingen davon aus, dass insbesondere in der zweiten Phase des Experiments, wenn die Proband*innen ohne Assistenzsystem arbeiten, das Fehlen des aktiven Lernens zu einer geringeren Produktivität und mehr Fehlern führen würde.

Das konstruktivistische Lernen erfordert dagegen eine aktive Aneignung und Anstrengung der Person, um den Prozess zu verstehen. Dabei können die Proband*innen ihre Aufgaben im engeren Sinne besser interpretieren. Auch wenn diese Art des Lernens anfangs mehr Zeit und Mühe erfordert, führt sie zu einem besseren Verständnis des Arbeitsprozesses und fördert die aktive Beteiligung, das Interesse und die Motivation der Lernenden.

In unserem Experiment konnten wir zwar keine Störungen im Prozess simulieren, da wir ein bereits bestehendes technisches Setting nutzten. Allerdings boten die erforderlichen Eingaben und Arbeitsabläufe auch so genügend Fehlermöglichkeiten, um Störungen im Arbeitsprozess zu verursachen. Wir erwarteten, dass sich die Vorteile des holistischen Prozesswissens bei der Arbeit mit autonomen Systemen vor allem dann zeigen würden, wenn die Proband*innen nicht mehr das Assistenzsystem zur Seite hätten.

Unsere zwei zentralen Hypothesen waren dementsprechend:

H1: Behavioristisches Lernen führt kurzfristig zu einer höheren Produktivität und Qualität der Arbeitsausführung als konstruktivistisches Lernen.

H2: Konstruktivistisches Lernen führt langfristig zu einer höheren Produktivität und Qualität der Arbeitsausführung als behavioristisches Lernen.

Weitere Hypothesen bezogen sich auf Unterschiede zwischen unterschiedlichen Lerntypen von Proband*innen sowie auf die Wahrnehmung des Assistenzsystems. Wir können diese jedoch hier aus Platzgründen nicht darstellen.

Die Proband*innen wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe (Kontrollgruppe) erhielt nur die Möglichkeit des behavioristischen Lernens. Sie bekam ausschließlich eine kurze Einführung in die Arbeitsschritte mithilfe des Assistenzsystems. Die zweite Gruppe (Treatment-Gruppe) erhielt zusätzlich eine zehnminütige Einführung in den gesamten Produktionsprozess: Was wird produziert, welche Rolle spielt dabei der Produktionsschritt, den die Proband*innen an der Anlage ausführen, was ist das Grundprinzip der Anlage und des durchgeführten Produktionsschrittes? Mit dieser Einführung sollte (kombiniert mit der Vorstellung der Arbeitsschritte mithilfe des Assistenzsystems) ein konstruktivistischer Lernprozess angestoßen werden.

Die Proband*innen wurden vorwiegend aus Studierenden der Universität Potsdam rekrutiert. Die Teilnahme am Experiment war freiwillig und wurde durch eine Aufwandsentschädigung vergütet. Insgesamt beteiligten sich 59 Personen, von denen 35 (7 Frauen, 28 Männer) der Treatment-Gruppe und 24 (11 Frauen, 13 Männer) der Kontrollgruppe zugewiesen wurden.

3.3 Immersion als Ansatz zur Vermittlung zwischen Experiment und Realität

Die weitgehend realitätsnahe Simulation von Arbeitsprozessen bietet aus unserer Sicht die Möglichkeit, einige Probleme von Laborexperimenten zu mindern, die bislang in der Forschung diskutiert werden. Die realitätsnahe Simulation soll bei den Proband*innen – in Anlehnung an die Forschung über Spiele und virtuelle Realität – das Gefühl der Immersion erzeugen. Immersion bezeichnet dabei ein Sich-Einfühlen in eine künstliche Umgebung, die das Bewusstsein für die Künstlichkeit der Situation in den Hintergrund treten lässt (z. B. Gronau et al. 2023; Jennett et al. 2008), und wird auch in Konzepten von „serious games" genutzt (Teichmann et al. 2020). Die Immersion hilft, die Probleme von Laborexperimenten zu reduzieren:

1. Immersion trägt dazu bei, die Beobachtungssituation zu vergessen, indem sich die Proband*innen auf ihre Umgebung und Aufgaben konzentrieren.
2. Durch Immersion kann die Bedeutung des Treatments zumindest etwas an reale Bedingungen angenähert werden. Die Proband*innen sollen das Gefühl bekommen, dass ihr Arbeitshandeln wirkliche Auswirkungen hat und sie mit ihrer Arbeit für die erfolgreiche Produktion zuständig sind.
3. Immersion erzeugt einen Kontext für das Arbeitshandeln im Experiment. Sie macht die Materialität des Produktionsprozesses spürbar. Die Proband*innen stehen wirklich an einer Produktionslinie, legen Werkstücke ein, geben Parameter ein und müssen auf die Zeit achten. Bei Fehlern stoppt die Produktion bzw. werden fehlerhafte Werkstücke produziert.

Immersion kann nicht alle Probleme von Laborexperimenten lösen. Den oben beschriebenen Empfehlungen zur Forschung mit Laborexperimenten folgend sind klare Unterschiede zwischen den Handlungsbedingungen in unserem Laborexperiment und der realen Welt zu benennen. So waren die Proband*innen Studierende, das heißt Personen mit gänzlich anderen Bildungs- und Erwerbsbiografien als Menschen, die typischerweise in den simulierten Kontexten arbeiten (stark standardisierte Maschinenbedienung). Bildungs- und Erwerbsbiografien beeinflussen erheblich die jeweils passenden Lernformen, sodass die Befunde des Experiments möglicherweise mit anderen Gruppen nicht replizierbar sind.

Zudem haben wir in unserem Experiment aus Kostengründen ein bestehendes Szenario genutzt, in dem wir nur einen standardisierten Arbeitsprozess, aber keine Unterbrechungen und Störungen simulieren konnten. Wir hatten keine Möglichkeit, die Robustheit der Befunde in unterschiedlichen experimentellen Szenarien

zu testen. Die Unterschiede zwischen dem konstruktivistischen und dem behavioristischen Lernen konnten wir nur hinsichtlich Produktivität und Qualität in einem standardisierten Prozess prüfen. Aufgrund der „ironies of automation“ wäre zu erwarten, dass sich die Unterschiede zwischen den beiden Lernformen insbesondere im Fall von Störungen zeigen. Wir können auf Basis unseres Experiments nur indirekt argumentieren: Sollte sich das konstruktivistische Lernen in einem ungestörten standardisierten Betrieb als erfolgreicher erweisen, könnte angenommen werden, dass diese Überlegenheit bei Störungen umso stärker ausgeprägt ist.

Im Experiment arbeiteten jeweils zwei Proband*innen parallel an der Linie, ihre Arbeit war aber unabhängig und es gab keine Interaktion. Aus der arbeitssoziologischen (wie auch verhaltensökonomischen) Forschung ist gut bekannt, dass die Entwicklung von Leistungsnormen in Arbeitsprozessen sehr stark durch die sozialen Beziehungen unter den Beschäftigten sowie zwischen den Beschäftigten und Vorgesetzten, aber auch durch die jeweiligen Anreizstrukturen im Betrieb beeinflusst wird (Barker 1993; Fehr und Falk 2002; Gerst 2006). Deshalb muss bei den Befunden des Experiments berücksichtigt werden, dass die Effekte von holistischem Prozesswissen auf Produktivität und Qualität bei der Arbeit mit autonomen Systemen in der realen Welt mit den Effekten der Macht-, Kooperations- und Konfliktbeziehungen im Betrieb interagieren würden.

Die zweistündige Dauer des Experiments war darauf angelegt, eher kurz- und mittelfristige Entwicklungen zu erheben. Als kurzfristig wurden dabei die ersten Arbeitsschritte unmittelbar nach der Einführung betrachtet. In der mittelfristigen Perspektive wurden die Arbeitsschritte nach mehreren Durchläufen des Arbeitsprozesses analysiert. Aufgrund der Einfachheit des Prozesses war zu erwarten, dass in dieser Zeit eine Einübung stattgefunden hat. Allerdings ist klar, dass sich der zeitliche Horizont von Arbeitsprozessen und Sozialbeziehungen in realen Betrieben komplett von dem Zeithorizont des Experiments unterscheidet. Es ist gut möglich, dass sich in dem von uns untersuchten Setting standardisierter Arbeit mit autonomen Systemen die Wirkung des konstruktivistischen Lernens sehr schnell erschöpft. Zudem könnten auch Arbeiter*innen, die nur eine Form des behavioristischen Anlernprozesses durchlaufen haben, in Zeiträumen von Wochen und Monaten ein erfahrungsbasiertes holistisches Wissen über den Produktionsprozess aufbauen. Diese Entwicklungen könnten dazu führen, dass sich potenzielle Unterschiede zwischen dem behavioristischen und dem konstruktivistischen Lernen nur in der Phase der ersten Arbeitsstunden und Tage zeigen, in einer langfristigen Perspektive aber verschwinden.

Die genannten Einschränkungen sind bei der Interpretation der vorgestellten Befunde zu berücksichtigen. Sie sind allerdings in Zukunft zumindest teilweise

in das Experimentdesign integrierbar. Die Rekrutierung von Proband*innen aus verschiedenen sozialen Gruppen ist vor allem ein praktisches Problem, nicht aber eine prinzipielle Unmöglichkeit. Im Hinblick auf das Experimentdesign arbeiten wir an der Integration von kontrollierten Störungen sowie von Teaminteraktionen. In einer zukünftigen möglichen Experimentvariante tragen diese Elemente zu einer weiteren Annäherung an reale Kontexte bei (Vladova et al. 2022). Eine grundsätzlichere Hürde bleiben allerdings die unterschiedlichen Zeithorizonte im Experiment und in der realen Welt.

4 Ergebnisse des Experiments

Wir skizzieren nachfolgend die Ergebnisse (für eine ausführlichere Darstellung siehe Wotschack et al. 2023; Vladova et al. 2020) und konzentrieren uns dabei auf die Bedeutung des holistischen Prozesswissens. Befunde zur Wahrnehmung und Arbeit mit den Assistenzsystemen behandeln wir aus Platzgründen nur sehr kurz.

In den aggregierten Ergebnissen zeigen sich (allerdings nur kleine) Vorteile der Treatment-Gruppe (mit konstruktivistischem Lernformat) hinsichtlich der Produktivität: Während Proband*innen der Treatment-Gruppe im Durchschnitt 8,82 Werkstücke produzierten, waren es bei Proband*innen der Kontrollgruppe 8,33 Werkstücke. Bei der Qualität der Arbeitsausführung (gemessen an der Abweichung vom optimalen Ablauf) schnitt allerdings die Kontrollgruppe etwas besser ab: Die durchschnittliche Abweichung (auf einer Skala von 0 bis 1) lag bei der Kontrollgruppe bei 0,22 und bei der Treatment-Gruppe bei 0,25. Dabei benutzte die Treatment-Gruppe die Hilfetaste des Assistenzsystems seltener.

Die Hypothesen H1 und H2 werden bestätigt, wenn wir die Arbeitsergebnisse im zeitlichen Verlauf betrachten. In Abb. 2 ist die Entwicklung der Produktivität beider Gruppen dargestellt. Bis Werkstück 6 zeigte die Kontrollgruppe das deutlich bessere Ergebnis: Über 90 % der Proband*innen der Kontrollgruppe konnten im Laufe des Experiments mindestens 6 Werkstücke produzieren, während es bei der Treatment-Gruppe weniger als 80 % waren. Die Leistung beider Gruppen glich sich bei der Arbeit an den Werkstücken 7 bis 9 an: Etwa 40 % der Proband*innen beider Gruppen schafften es, mindestens 9 Werkstücke zu produzieren. Je länger die Produktion ohne Assistenzsystem dauerte, desto erfolgreicher war die Treatment-Gruppe: 20 % der Treatment-Gruppe stellten 14 Werkstücke her, während in der Kontrollgruppe niemand diesen Wert erreichte.

Ein ähnliches Bild zeigt sich im Hinblick auf die Qualität. Bis zum Werkstück 9 machte die Treatment-Gruppe etwas mehr Fehler als die Kontrollgruppe, ab

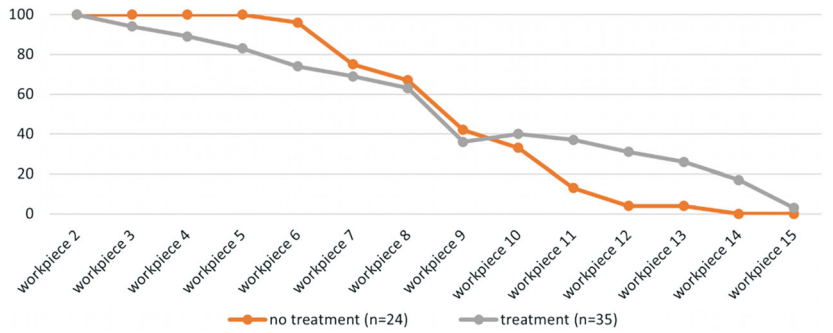

Abb. 2 Anteil der Proband*innen (in %) nach Anzahl der angefertigten Werkstücke im Zeitverlauf (90 min). (Quelle: Autor*innen)

Werkstück 10 lagen die Zahl der Fehler und der Abweichungen vom optimalen Prozessablauf bei der Treatment-Gruppe unter den Werten der Kontrollgruppe.

In der Befragung nach dem Experiment äußerten die Proband*innen der Treatment-Gruppe ein deutlich stärkeres Interesse an weiteren Informationen über den Produktionsprozess sowie an einer Unterstützung durch eine menschliche Ansprechperson, was wir auf den Impuls des konstruktivistischen Lernens am Anfang des Prozesses zurückführen.

Beide Gruppen bewerteten das Assistenzsystem ähnlich: Die Mehrheit empfand es als hilfreich, zugleich merkten aber 82 % der Proband*innen der Treatment-Gruppe und 75 % der Kontrollgruppe an, dass sie das Assistenzsystem in manchen Situationen als störend wahrnahmen.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse damit die Erwartungen, die wir ausgehend von Befunden der arbeitssoziologischen Fallstudienforschung und lerntheoretischer Ansätze, wie sie in der Wirtschaftsinformatik genutzt werden, entwickelt haben.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

In unserer Analyse konzentrierten wir uns vor allem auf das Problem der „ironies of automation“: Während der Umgang mit autonomen Systemen von den Beschäftigten die Fähigkeit erfordert, auf Störungen schnell reagieren zu können, reduzieren sich zugleich durch den Einsatz dieser Systeme die Möglichkeiten, für diese Situationen zu üben. Zur Lösung dieses Problems wird oftmals auf die

verstärkte Nutzung von Assistenzsystemen verwiesen. Dieser Ansatz wird mit der Hoffnung verbunden, Qualifizierungszeiten zu reduzieren. Eine Alternative ist die Entwicklung holistischen Prozesswissens durch die Beschäftigten, auch wenn dies in der betrieblichen Praxis kostspielig sein kann.

Wir haben die Bedeutung holistischen Prozesswissens bei der Arbeit mit autonomen Systemen in einem Experiment untersucht und dafür einen hochautomatisierten Produktionsprozess simuliert, bei dem Beschäftigte für die Bedienung der Maschinen (Einstellung der Parameter, Starten der Arbeitsprogramme) und die Materialzuführung verantwortlich sind. In diesem Prozess wurden sie zuerst von Assistenzsystemen angeleitet, die den Beschäftigten genau vorgeben, welche Tätigkeiten sie auszuführen haben. Eine Gruppe arbeitete ausschließlich unter Anleitung des Assistenzsystems, die andere Gruppe erhielt zusätzlich eine Einführung in den gesamten Arbeitsprozess. Wir konnten in unserem Experimentsetting keine Störungen simulieren, was der beste Testfall für den Umgang mit den „ironies of automation“ wäre. Daher entschieden wir uns, nach einigen Durchläufen mit Assistenzsystem beide Gruppen ohne Assistenzsystem weiterarbeiten zu lassen. Die Arbeitssituation blieb dadurch zwar identisch, allerdings mussten nun beide Gruppen die Anforderungen des Prozesses ohne Assistenz bewältigen und dabei auch mit den Folgen eigener Fehler bei der Maschinenbedienung und Auftragsbearbeitung umgehen. Wenn sich holistisches Prozesswissen bereits bei der Bewältigung eines stark standardisierten Arbeitsprozesses ohne Assistenzsystem als nützlich erweisen würde, sollte dies auch auf den Umgang mit ungeplanten, größeren Störfällen zutreffen.

Unsere oben beschriebenen Befunde sprechen für die Bedeutung holistischen Prozesswissens bei der Arbeit mit autonomen Systemen und damit für die Grenzen des Einsatzes von Assistenzsystemen. Assistenzsysteme können zwar die Fehlerzahl in Arbeitsprozessen reduzieren. Wenn aber Beschäftigte mit Assistenzsystemen arbeiten und kein holistisches Prozesswissen vermittelt bekommen, zeigen sich Probleme bei der Arbeit in neuen, ungeplanten Situationen.

Unsere Befunde sind kompatibel mit weiteren Studien, die mit sehr unterschiedlichen Methodologien durchgeführt wurden. Die qualitativen Studien zur Nutzung autonomer Systeme in der Luftfahrt zeigen, wie wichtig die Vermittlung von holistischem Prozesswissen (etwa durch Simulationen) bei der Pilotenausbildung ist (Weyer 2007). Arbeitssoziologische Fallstudien in Bereichen mit hoher Automatisierung belegen die Bedeutung von Erfahrungswissen und Arbeitsprozesswissen in der Facharbeit (Pfeiffer 2004; Baethge-Kinsky et al. 2018), aber auch in Bereichen von angelernter Arbeit (Kuhlmann et al. 2018). Selbst in stark standardisierten Arbeitsprozessen werden Grenzen der Assistenzsysteme sichtbar: Diese helfen in Anlernphasen, werden aber oftmals als hinderlich empfunden,

wo Beschäftigte genügend Erfahrung besitzen und wo sich Abweichungen ergeben, die in den Assistenzsystemen nicht vorgesehen werden. In Experimenten konnte nachgewiesen werden, dass der Einsatz von Assistenzsystemen zwar für die Beschäftigten entlastend sein, zugleich aber Lernprozesse behindern kann (Mark et al. 2020).

Wir nehmen die Ergebnisse unseres Experiments wie auch ihren Abgleich mit weiteren Studien als Indiz dafür, dass eine ganz enge Einarbeitung ohne breiteres holistisches Wissen auch in relativ standardisierten, routinisierten Abläufen langfristig einem breiteren Qualifikationsansatz unterlegen ist. Wir haben im gegebenen Setting nicht prüfen können, inwieweit sich dieser Nachteil bei Störungen des Prozesses verstärkt. Wir werden dies in einer Weiterentwicklung unseres Experiments analysieren. Eine Begrenzung ist auch unsere Samplegröße. Die Robustheit unserer Ergebnisse muss auf Basis größerer Samples geprüft werden.

Mit unserer Studie wollten wir vor allem zeigen, dass mit dem heutigen Stand von Laborexperimenten auch Fragestellungen untersucht werden können, die für die soziologische Arbeitsforschung relevant sind. Wir haben dazu in Anlehnung an existierende Ansätze mehrere Kriterien herausgearbeitet: Durch die Nutzung moderner Labore, in denen Produktionsprozesse realitätsnah simuliert werden können (Stichwort Immersion), lassen sich Probleme des fehlenden Kontexts, der Beobachtungssituation und der Entwicklung eines an die reale Welt angenäherten Treatments zwar nicht lösen, aber zumindest etwas entschärfen. Unser eigenes Experiment illustriert einen ersten Versuch, der viele Möglichkeiten der Labore noch gar nicht nutzt. In Zukunft wollen wir beispielsweise testen, inwieweit Störungen, Problemlösung und Teaminteraktionen im Labor simuliert werden können.

Zudem ist es notwendig, die Laborbefunde mit Ergebnissen empirischer Studien abzugleichen, die auf Beobachtungsdaten und unterschiedlichen Methoden beruhen. Dabei müssen systematisch die Unterschiede der Handlungsbedingungen im Labor und in der realen Welt reflektiert werden. Dafür sollten Laborexperimente mit Befragungen der Proband*innen verbunden werden.

Wir wollen ganz klar betonen, dass Laborexperimente Fallstudien, Befragungen, Arbeitsplatzbeobachtungen und andere Methoden nicht ersetzen, aber eben bei manchen Fragestellungen sinnvoll ergänzen können. Unter bestimmten Bedingungen können in Laborexperimenten ausgewählte Mechanismen kontrolliert untersucht werden, wie dies in quantitativen und qualitativen Designs nicht möglich ist. Damit bieten sich neue Perspektiven für die interdisziplinäre Arbeitsforschung, die auch einer methodologischen Diskussion bedürfen.

Literatur

Acatech. 2015. *Smart Maintenance für Smart Factories.* Acatech Position. München: Acatech.

Ally, Mohamed. 2005. Using learning theories to design instruction for mobile learning devices. In *Mobile learning anytime everywhere: a book of papers from MLEARN 2004*, 5–8. London: Learning and Skills Development Agency.

Apt, Wenke, Marc Bovenschulte, Kai Priesack, Christine Weiß, und Ernst Andreas Hartmann. 2018. *Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb.* Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales 502. Berlin: Institut für Innovation und Technik.

Armantier, Olivier, and Amadou Boly. 2008. Can Corruption be Studied in the Lab? Comparing a Field and a Lab Experiment. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.1324120.

Aronson, Elliot, Phoebe C Ellsworth, J. Merrill Carlsmith, and Marti Hope Gonzales. 1990. *Methods of Research In Social Psychology.* New York: McGraw-Hill.

Autor, David H. 2015. Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. *Journal of Economic Perspectives* 29: 3–30. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3.

Bada, Steve Olesegun. 2015. Constructivism Learning Theory: A Paradigm for Teaching and Learning. *IOSR Journal of Research & Method in Education* 5: 66–70.

Baethge-Kinsky, Volker, Kai Marquardsen, und Knut Tullius. 2018. Perspektiven industrieller Instandhaltungsarbeit. *WSI-Mitteilungen* 71: 174–181. https://doi.org/10.5771/0342-300X-2018-3-174.

Bainbridge, Lisanne. 1983. Ironies of automation. *Automatica* 19: 775–779. https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8.

Barker, James R. 1993. Tightening the Iron Cage: Concertive Control in Self-Managing Teams. *Administrative Science Quarterly* 38: 408. https://doi.org/10.2307/2393374.

Baxter, Gordon, John Rooksby, Yuanzhi Wang, and Ali Khajeh-Hosseini. 2012. The ironies of automation: still going strong at 30? In *Proceedings of the 30th European Conference on Cognitive Ergonomics*, 65–71. Edinburgh: ACM. https://doi.org/10.1145/2448136.2448149.

Berger, Thor, and Carl Benedict Frey. 2015. Bridging the skills gap. In *Technology, Globalisation and the Future of Work in Europe. Essays on Employment in a Digitised Economy*, hrsg. von Tony Dolphin, 75–79. London: Institute for Public Policy Research.

Blumenfeld, Phyllis C. 1992. Classroom learning and motivation: Clarifying and expanding goal theory. *Journal of Educational Psychology* 84: 272–281. https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.3.272.

Böhle, Fritz. 2004. Die Bewältigung des Unplanbaren als neue Herausforderung in der Arbeitswelt. In *Die Bewältigung des Unplanbaren*, hrsg. von Fritz Böhle, Sabine Pfeiffer, Nese Sevsay-Tegethoff, 12–54. Wiesbaden: VS Verlag.

Butollo, Florian, Ulrich Jürgens, and Martin Krzywdzinski. 2019. From Lean Production to Industrie 4.0. More Autonomy for Employees? In *Digitalization in Industry. Between Domination and Emancipation*, hrsg. von Uli Meyer, Simon Schaupp, David Seibt, 61–80. Cham: Palgrave.

Cedefop. 2015. *Job-related adult learning and continuing vocational training in Europe: a statistical picture.* Cedefop Research Paper 48. Luxembourg: Publications Office.

Donaldson, Stewart I., and Elisa J. Grant-Vallone. 2002. Understanding Self-Report Bias in Organizational Behavior Research. *Journal of Business and Psychology* 17: 245–260. https://doi.org/10.1023/A:1019637632584.

Druckman, James N., Donald P. Green, James H. Kuklinski, and Arthur Lupia. Hrsg. 2011. *Cambridge Handbook of Experimental Political Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Edwards, Paul. 2012. Experimental economics and workplace behaviour: bridges over troubled methodological waters? *Socio-Economic Review* 10: 293–315. https://doi.org/10.1093/ser/mwr021.

Falkenberg, Jonathan. 2021. *Taylors Agenten: eine arbeitssoziologische Analyse mobiler Assistenzsysteme in der Logistik*. Baden-Baden: Nomos.

Fehr, Ernst, and Armin Falk. 2002. Psychological foundations of incentives. *European Economic Review* 46: 687–724. https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00208-2.

Fink, Robin D., und Johannes Weyer. 2011. Autonome Technik als Herausforderung der soziologischen Handlungstheorie. *Zeitschrift für Soziologie* 40. https://doi.org/10.1515/zfsoz-2011-0201.

Fischer, Martin. 2000. *Von der Arbeitserfahrung zum Arbeitsprozeßwissen: rechnergestützte Facharbeit im Kontext beruflichen Lernens.* Opladen: Leske+Budrich.

Forbes, H., M. Duke, and M. Prosser. 2001. Students' Perceptions of Learning Outcomes From Group-Based, Problem-Based Teaching and Learning Activities. *Advances in Health Sciences Education* 6: 205–217. https://doi.org/10.1023/A:1012610824885.

Gardner, Christopher, und Sebastian Thielen. 2015. *Didaktische Prinzipien für E-Learning.* Berlin: wvb.

Gerst, Detlef. 2006. *Von der direkten Kontrolle zur indirekten Steuerung*. München und Mering: Hampp.

Gronau, Norbert. 2019. Determining the appropriate degree of autonomy in cyber-physical production systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 26: 70–80. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2019.05.001.

Gronau, Norbert, Annette Kluge, Jennifer Haase, und Christof Thim. 2023. Experiential Learning Factories: Bridging the Gap between Lab and Field Experiments. *Proceedings of the 13th Conference on Learning Factories (CLF 2023).* https://doi.org/10.2139/ssrn.4469819.

Heßler, Martina. 2014. Die Halle 54 bei Volkswagen und die Grenzen der Automatisierung. Überlegungen zum Mensch-Maschine-Verhältnis in der industriellen Produktion der 1980er-Jahre. *Zeithistorische Forschungen* 11: 56–76. https://doi.org/10.14765/ZZF.DOK-1495.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut. 2016. *Digitalisierung und Einfacharbeit*. Wiso Diskurs 02/2016. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut, Peter Ittermann, und Jonathan Niehaus. Hrsg. 2018. *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen.* 2. Auflage. Baden-Baden: Nomos.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut, und Anemari Karacic. Hrsg. 2019. *Autonome Systeme und Arbeit: Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt*. Bielefeld: transcript. https://doi.org/10.14361/9783839443958.

Jackson, Michelle, and D. R. Cox. 2013. The Principles of Experimental Design and Their Application in Sociology. *Annual Review of Sociology* 39: 27–49. https://doi.org/10.1146/annurev-soc-071811-145443.

Jennett, Charlene, Anna L. Cox, Paul Cairns, Samira Dhoparee, Andrew Epps, Tim Tijs, and Alison Walton. 2008. Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies* 66: 641–661. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004.

Keller, Alinde, Judith Schöner, Jeanette De La Barré, Hardy Groß, Thalke Ehlers, Martin Schulze, Hagen Kühnel, Christian Motsch, Tina Haase, und Susanne Maria Weber. 2022. Erfahrungen und Lösungsansätze für die Einführung eines digitalen Assistenzsystems in der Instandhaltung. In *Digitalisierung der Arbeitswelt im Mittelstand 2*, hrsg. von Verena Nitsch, Christopher Brandl, Roger Häußling, Philip Roth, Thomas Gries, Bernhard Schmenk, 297–342. Berlin und Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65858-1_9.

Kessler, Judd, and Lise Vesterlund. 2015. The external validity of laboratory experiments: The misleading emphasis on quantitative effects. In *Handbook of Experimental Economic Methodology*, hrsg. von Guilaume Fréchette und Andrew Schotter, 392–405. Oxford: Oxford University Press.

Klippert, Jürgen, Moritz Niehaus, und Detlef Gerst. 2018. Mit digitaler Technologie zu Guter Arbeit? Erfahrungen mit dem Einsatz digitaler Werker-Assistenzsysteme. *WSI-Mitteilungen* 71: 235–240. https://doi.org/10.5771/0342-300X-2018-3-235.

Kluge, Annette. 2007. Experiential Learning Methods, Simulation Complexity and Their Effects on Different Target Groups. *Journal of Educational Computing Research* 36: 323–349. https://doi.org/10.2190/B48U-7186-2786-5429.

Kolb, Alice Y., and David A. Kolb. 2005. Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in Higher Education. *Academy of Management Learning & Education* 4: 193–212. https://doi.org/10.5465/amle.2005.17268566.

Krzywdzinski, Martin. 2021. Automation, digitalization, and changes in occupational structures in the automobile industry in Germany, Japan, and the United States: a brief history from the early 1990s until 2018. *Industrial and Corporate Change* 30: 499–535. https://doi.org/10.1093/icc/dtab019.

Krzywdzinski, Martin, and Florian Butollo. 2022. Combining Experiential Knowledge and Artificial Intelligence. The Digital Transformation of a Traditional Machine-Building Company. *management revue* 33: 161–184. https://doi.org/10.5771/0935-9915-2022-2-161.

Krzywdzinski, Martin, Detlef Gerst, und Florian Butollo. 2022a. Promoting human-centred AI in the workplace. Trade unions and their strategies for regulating the use of AI in Germany. *Transfer: European Review of Labour and Research*: 102425892211422. https://doi.org/10.1177/10242589221142273.

Krzywdzinski, Martin, Sabine Pfeiffer, Maren Evers, und Christine Gerber. 2022b. *Die Vermessung der Arbeitswelt. Wearables und digitale Assistenzsysteme in Fertigung und Logistik*. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.

Kuhlmann, Martin, Barbara Splett, und Sascha Wiegrefe. 2018. Montagearbeit 4.0? Eine Fallstudie zu Arbeitswirkungen und Gestaltungsperspektiven digitaler Werkerführung. *WSI-Mitteilungen* 71: 182–188. https://doi.org/10.5771/0342-300X-2018-3-182.

Levitt, Steven D, and John A List. 2007. What Do Laboratory Experiments Measuring Social Preferences Reveal About the Real World? *Journal of Economic Perspectives* 21: 153–174. https://doi.org/10.1257/jep.21.2.153.

Loyens, Sofie M. M., and David Gijbels. 2008. Understanding the effects of constructivist learning environments: introducing a multi-directional approach. *Instructional Science* 36: 351–357. https://doi.org/10.1007/s11251-008-9059-4.

Mark, Benedikt G., Erwin Rauch, and Dominik T. Matt. 2020. Study of the impact of projection-based assistance systems for improving the learning curve in assembly processes. *Procedia CIRP* 88: 98–103. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.018.

McDermott, Rose. 2011. Internal and External Validity. In *Cambridge Handbook of Experimental Political Science*, hrsg. von James N. Druckman, Donald P. Green, James H. Kuklinski, Arthur Lupia, 27–40. Cambridge: Cambridge University Press.

Mitchell, Gregory. 2012. Revisiting Truth or Triviality: The External Validity of Research in the Psychological Laboratory. *Perspectives on Psychological Science* 7: 109–117. https://doi.org/10.1177/1745691611432343.

Müller, Rainer, Leenhard Hörauf, Christoph Speicher, and Attique Bashir. 2019. Situational cognitive assistance system in rework area. *Procedia Manufacturing* 38: 884–891. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.170.

Pfeiffer, Sabine. 2004. *Arbeitsvermögen: ein Schlüssel zur Analyse (reflexiver) Informatisierung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Pfeiffer, Sabine. 2016. Robots, Industry 4.0 and Humans, or Why Assembly Work Is More than Routine Work. *Societies* 6: 16. https://doi.org/10.3390/soc6020016.

Pfeiffer, Sabine. 2018. The Future of Employment on the Shop Floor: Why Production Jobs are Less Susceptible to Computerization than Assumed. *International Journal for Research in Vocational Education and Training* 5: 208–225. https://doi.org/10.13152/IJRVET.5.3.4.

Pflüger, Jessica, Hans J Pongratz, und Rainer Trinczek. 2010. Fallstudien in der deutschen Arbeits- und Industriesoziologie. Eine Bestandsaufnahme. In *Industriesoziologische Fallstudien*, hrsg. von Hans J. Pongratz und Rainer Trinczek, 24–67. Berlin: Sigma.

Pongratz, Hans J, und Rainer Trinczek. Hrsg. 2010. *Industriesoziologische Fallstudien*. Berlin: Sigma.

Reif, Rupert, and Willibald A. Günthner. 2009. Pick-by-vision: augmented reality supported order picking. *The Visual Computer* 25: 461–467. https://doi.org/10.1007/s00371-009-0348-y.

Reinhart, Gunther, Klaus Bengler, Christiane Dollinger, Carsten Intra, Christopher Lock, Severina Popova-Dlogosch, Christoph Rimpau, Jonas Schmidtler, Severin Tauber, und Susanne Vernim. 2017. Der Mensch in der Produktion von Morgen. In *Handbuch Industrie 4.0*, hrsg. von Gunther Reinhart, 51–88. München: Hanser.

Roth, Elisa, Mirco Moncks, Thomas Bohne, and Luisa Pumplun. 2020. Context-Aware Cyber-Physical Assistance Systems in Industrial Systems: A Human Activity Recognition Approach. In *2020 IEEE International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, 1–6. Rome, Italy: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICHMS49158.2020.9209488.

Schulz-Schaeffer, Ingo, und Werner Rammert. 2019. Technik, Handeln und Praxis. Das Konzept gradualisierten Handelns revisited. In *Berliner Schlüssel zur Techniksoziologie*, hrsg. von Cornelius Schubert und Ingo Schulz-Schaeffer, 41–76. Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22257-4_3.

Tang, Arthur, Charles Owen, Frank Biocca, and Weimin Mou. 2004. Performance Evaluation of Augmented Reality for Directed Assembly. In *Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing*, hrsg. von S. K. Ong und A. Y. C. Nee, 311–331. London: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3873-0_16.

Teichmann, Malte, André Ullrich, Dennis Knost, and Norbert Gronau. 2020. Serious games in learning factories: perpetuating knowledge in learning loops by game-based learning. *Procedia Manufacturing* 45: 259–264. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.104.

Vladova, Gergana, Philip Wotschack, Patricia De Paiva Lareiro, Norbert Gronau, und Christof Thim. 2020. Lernen mit Assistenzsystemen – Vor lauter Aufgaben den Prozess nicht sehen? *Industrie 4.0 Management* 2020: 16–20. https://doi.org/10.30844/I40M_20-3_S16-20.

Vladova, Gergana, Philip Wotschack, Patricia de Paiva Lareiro, and Martin Krzywdzinski. 2022. Development of problem-solving skills in a manufacturing context – a learning factory concept. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4075070.

Walker, Eva-Maria. 2017. Subjektive Aneignungspraktiken digitaler Technologien und die zugrunde liegenden Gerechtigkeitsansprüche der Beschäftigten. *Arbeit* 26: 315–342. https://doi.org/10.1515/arbeit-2017-0021.

Weyer, Johannes. 2007. Autonomie und Kontrolle. Arbeit in hybriden Systemen am Beispiel der Luftfahrt. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 16: 35–42.

Wotschack, Philip, Gergana Vladova, Patricia de Paiva Lareiro, and Christof Thim. 2023. Learning via assistance systems in industrial manufacturing. An experimental study in an Industry 4.0 environment. *Journal of Workplace Learning* 35: 235-258.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.