SSOAR

Open Access Repository
www.ssoar.info

# AR-Brillen und Exoskelette in der Baubranche: einfache Entlastungsversprechen gegenüber komplexen Mensch-Maschine-Konfigurationen

Wortmeier, Ann-Kathrin; Kropp, Cordula

Veröffentlichungsversion / Published Version
Zeitschriftenartikel / journal article

**Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:**
Wortmeier, A.-K., & Kropp, C. (2021). AR-Brillen und Exoskelette in der Baubranche: einfache Entlastungsversprechen gegenüber komplexen Mensch-Maschine-Konfigurationen. *AIS-Studien*, *14*(1), 37-53. https://doi.org/10.21241/ssoar.73018

**Nutzungsbedingungen:**
*Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.*
*Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.*

**Terms of use:**
*This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.*
*By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.*

gesis Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Arbeits- und Industriesoziologische Studien 14 (1) 2021: 37–53

# AR-Brillen und Exoskelette in der Baubranche: Einfache Entlastungsversprechen gegenüber komplexen Mensch-Maschine-Konfigurationen[1]

*Ann-Kathrin Wortmeier, Cordula Kropp*[2]

**Zusammenfassung**: Tragbare digitale Technologien wie Exoskelette oder AR-Brillen versprechen in der Baubranche als zukünftige „Verschmelzung" von Mensch, Maschine und Software, schwere körperliche Arbeit und kognitiv komplexe Tätigkeiten zu erleichtern. Um Risiken und neue Formen der Belastung zu minimieren, kommt es allerdings auf eine kluge Integration von menschlicher und künstlicher Handlungsfähigkeit an. Gegenwärtig befinden sich Exoskelette und AR-Softwarelösungen für die Bauwirtschaft noch in der Entwicklung. Die versprochenen Entlastungseffekte stützen sich auf ingenieur- und informationswissenschaftliche Annahmen, Erfahrungswerte aus anderen Anwendungskontexten (Automobilindustrie) sowie auf technikeuphorische Darstellungen (Werbung). Der Beitrag stellt auf der Basis von Dokumentenanalysen und Leitfadeninterviews verschiedene Annahmen über Entlastungseffekte durch digitale Unterstützungstechnologien vor und diskutiert ihre Realisierungschancen anhand von typisierten Mensch-Maschine-Konfigurationen im Bausektor.

**Abstract**: Wearable digital technologies such as exoskeletons or augmented reality (AR) glasses promise to facilitate heavy physical work and cognitively complex activities in the construction industry as a future "fusion" of humans, machines and software. However, to minimize possible risks and new forms of stress, it is important to integrate human and artificial capabilities in a clever way. At present, exoskeletons and AR software solutions for the construction industry are still in development. The promised assistance and relief effects are based on assumptions from engineering and information science, experiences from other application contexts (automotive industry) as well as on technology euphoria in advertisement. Based on document analyses and guideline interviews, this article introduces visions of relief effects through digital assistive technologies and discusses their chances of realisation on the basis of typified human-machine configurations in the construction sector.

---

1 Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC 2120/1 – 390831618

2 Ann-Kathrin Wortmeier, Universität Stuttgart, E-Mail: ann-kathrin.wortmeier@sowi.uni-stuttgart; Prof. Dr. Cordula Kropp, Universität Stuttgart, E-Mail: cordula.kropp@sowi.uni-stuttgart

# 1 Einleitung

Die Bauwirtschaft klagt über Fachkräftemangel und schlecht integrierte und dadurch fehleranfällige Bauprozesse. Sie stellt sich die Frage, wie Arbeitsplätze attraktiver und fehlende Qualifikationen durch digitale Unterstützungstools kompensiert werden können. Eine Annahme ist, dass die physische Belastung und die hohe Unfallgefahr durch digitale Technologien reduziert werden könnten. Im Jahr 2019 wurden 106.774 (2018: 105.687) Arbeitsunfälle gemeldet (BG Bau 2019). Abstürze im Baustellenkontext sind Unfallursache Nummer eins und die aktuellen Unfallzahlen gelten als alarmierend (BG Bau 2020). Zugleich gewinnen Unfälle im Umgang mit Maschinen an Aufmerksamkeit, die auch auf manipulierte Maschinensicherungen zurückzuführen sind, die mutmaßlich aus Zeitersparnis und Bequemlichkeit vorgenommen wurden (BG Bau 2020a). Daneben steigen die Anzeigen von Berufskrankheiten, die überwiegend auf körperlichen Verschleiß zurückzuführen sind sowie auf negative Arbeitsplatzeinflüsse wie Lärm, Sonneneinstrahlung und giftige Baumaterialien (BG Bau 2019).

Tragbare Technologien wie Exoskelette oder Augmented Reality (AR)-Brillen versprechen vor diesem Hintergrund, Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz zu erhöhen, indem die technische Entlastung dem körperlichen Verschleiß entgegenwirke und Informationen leichter verfügbar und in Echtzeit bereitgestellt werden (dazu ein Video der BG Bau). Exoskelette wurden ursprünglich für militärische und medizinische Einsätze entwickelt (Ifaa 2019). Es handelt sich bei ihnen um am Körper getragene, robotische Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken, um die Arbeitssituation ergonomisch zu optimieren, entweder zur Entlastung beim Heben von Lasten und bei Arbeiten über Schulterhöhe oder um bestimmte Tätigkeiten überhaupt ausführbar zu machen (ebd.: 1).

Der Haupteinsatz von AR-Technologie liegt bislang im Gamingbereich (Bitkom 2020). Vor allem im letzten Jahrzehnt wurden jedoch Applikationsbereiche in Industrie und Baugewerbe gesucht. Die Verbreitung von Smartphones als mobile Endgeräte und das Aufkommen von AR-fähigen Modellen, in denen Bauwerksmodelle datenbasiert im digitalen Raum gespiegelt werden, machen die Nutzung von AR-Visualisierungen für neue Anwendungsbereiche attraktiv (Liao 2016). AR visualisiert im Sinne einer „erweiterten Realität" relevante Sachverhalte kontextbezogen auf externen Smartphone- und Tablet-Bildschirmen oder legt Computergrafiken mittels AR-Brillen über die reale Welt.

Die Entlastung von Baufachkräften durch avancierte, tragbare Technologien verspricht, die gegenwärtigen personellen Herausforderungen der Baubranche in mehrfacher Hinsicht zu lösen: Technisierung, so die Erwartungen der Branche, mache die Jobs attraktiver, körperlich weniger belastend und auch für gering Qualifizierte ausführbar. Jedoch lassen sich bei der Einführung oder Erprobung von Exoskeletten und AR-Brillen Nutzungshemmnisse beobachten, die von begrenzter technischer Praktikabilität und Funktionalität bis zu individuellen und gesellschaftlichen Akzeptanzproblemen reichen. Vor allem werfen Einführungsprobleme in anderen Kontexten, zum Beispiel in der Automobilbranche (Hensel et al. 2018), der Altenpflege (BGW 2017) sowie im Falle von industrieller AR (Kim et al. 2016) die Frage auf, ob und inwiefern Exoskelette oder AR-Brillen die Sicherheit und Gesundheit tatsächlich steigern und Arbeitsprozesse entlasten oder ob mit ihnen eher einer Verschiebung von Arbeits- und

Gesundheitsrisiken einhergeht. Ihre Beantwortung hängt von den konkreten Mensch-Maschine-Konfigurationen[3] ab, weil der potenzielle Einzug dieser tragbaren Technologien zu neuen Mensch-Maschine-Beziehungen (MMB) auf der Baustelle oder in der Vorfertigung führt. Dadurch werden die bisherigen Handlungs- und Kontrollfähigkeiten umverteilt und es können neue Risikokonstellation im Hinblick auf Be- und Entlastungen entstehen (Bainbridge 1983, Suchman 1998; Kropp/Wortmeier 2021).

# 2 Forschungsstand und Forschungsthesen

In der Techniksoziologie hat sich in Bezug auf MMB eine *relationale* Sicht durchgesetzt, in der soziale und technische Komponenten einer wechselseitigen Formung unterliegen. Grundlegend ist die Annahme, dass sich die gesellschaftlichen Erwartungen an Technologien und die technologischen Möglichkeiten und Grenzen wechselseitig bedingen, so dass in Technikgeneseprozessen die Bedeutung von beiderlei Kräften stets ausgehandelt werden: Technik erscheint als „sozialer Prozess" (Weingart 1989, Rammert 2016). Diese Wechselseitigkeit und Interdependenz sozio-technischer Arrangements charakterisiert insbesondere hybride Systeme, in denen sich technische, materielle und gesellschaftliche Komponenten zu einem „nahtlosen Netz" zusammenfügen (Hughes 1986), wie es für Infrastruktursysteme typisch ist.

## 2.1 Merkmale hybrider Systeme

Ein wesentliches Merkmal hybrider Systeme, z. B. cyberphysischer Produktions- oder Infrastruktursysteme, ist die Verteilung von Handlungsträgerschaft bzw. Handlungsfähigkeit (*agency*) auf mehrere technische und nicht-technische Komponenten, so dass sie nicht länger nur beim Menschen als Entscheider*in zu suchen, sondern auf die verschiedenen Komponenten der Systeme verteilt ist (Rammert 2016). Diese Verteilung erweist sich als nicht stabil, sondern muss als „relationaler Effekt" untersucht werden, womit gemeint ist, dass sich *agency* in den konkreten Konfigurationen der jeweiligen Systeme aus der Komplexität der verknüpften Elemente und ihren Wechselbeziehungen ergibt (Suchman 1998: 9). Im Falle der medial viel beachteten Abstürze von zwei Boeing-737-Max-Maschinen (2018/2019) wurde beispielsweise die *agency* der automatisierten Steuerung überschätzt, die Notwendigkeit von Interventionsmöglichkeiten für Piloten hingegen unterschätzt und das Gesamtsystem war zu schlecht integriert (Kropp/Wortmeier 2021). Bei der Betrachtung verteilter *agency* (*distributed agency*) in hybriden Systemen der Mensch-Maschine-Interaktion stellt sich somit die Kontrollfrage (Grote 2018). Unter Kontrolle wird die Macht verstanden, eine Situation so zu beeinflussen, dass sie sich in einer Weise entwickelt oder bleibt, die vom kontrollierenden Agenten vorgegeben wird (Flemisch et al. 2016: 73). In cyberphysischen Bauprozessen der Zukunft koordinieren sich physische, elektronische und digitale Komponenten unter mehr oder weniger umfangreicher menschlicher Aufsicht über eine gemeinsame Dateninfrastruktur selbstständig und kontextbezogen. Die Risiken liegen dabei in einer fragmentierten Kontrolle (*fragmented control*), wenn die einzelnen Systemkomponenten nicht gut genug aufeinander abgestimmt sind, auf

[3] Wir benutzen den Begriff Maschine für alle technischen Mittel unabhängig davon, ob ihnen ein mechanisches, elektrisches oder computerbasiertes Steuerungssystem zugrunde liegen.

Seiten der Maschinenführung unvollständige Informationen vorliegen oder es zu unvorhergesehenen Interaktionen kommt – alles Probleme, die im Fall des neuen Flugzeugtyps von Boeing bestanden.

Die Interdependenz der heterogenen Komponenten in hybriden Systemen bedingt zugleich die menschlichen Kontrollkompetenzen und die technologischen Steuerungsoptionen. Deshalb interessieren uns die Qualität sowie Intensität der Interaktion zwischen Menschen und Maschinen in den neuartigen MMB und die daraus resultierenden Entscheidungshorizonte. Meist sind die Interaktions- sowie Reaktionsmöglichkeiten mehrdeutig und die notwendigen Informationen zur Interpretation von Interaktionsereignissen nicht immer verfügbar (Grote 2018: 216).

Daraus resultiert ein weiteres Konfigurationsmerkmal, nämlich die notwendige digitale Kompetenz als Voraussetzung für menschliche Handlungs- und Kontrollfähigkeit in hybriden Systemen (Brödner 2019). In der Praxis zeigt sich, dass die neuen Produktionskonzepte mit fortschreitender Technisierung qualifizierte Fachkräfte mit Erfahrungswissen erfordern[4] (Böhle et al. 2009; Pfeiffer 2017; Porschen 2008). Erfahrung ist nicht nur im Bereich hochqualifizierter Tätigkeiten notwendig, sondern gerade für automatisierte Arbeitssysteme relevant, in denen permanent Störungen beseitigt oder antizipiert werden müssen (Pfeiffer/Suphan 2018: 283). Werden die benötigten Kompetenzen im Umgang mit intelligenten Systemen unterschätzt oder sogar angenommen, sie seien ohne Qualitätsverlust auf technische Agenten zu übertragen, entstehen Risikokonstellationen, in denen Menschen durch die begrenzte Beherrschbarkeit inter- und reaktiver Maschinen überfordert sind (Bainbridge 1983; Hirsch-Kreinsen/Karacic 2019). Gerade die Störungsanfälligkeit von vermeintlich „intelligenten" Systemen macht spezialisierte und geschulte Fachkräfte unverzichtbar, die auch mit unerwarteten Störungen umgehen können. Zu dieser Einschätzung kommen auch die Ingenieurwissenschaften, die Menschen nicht mehr als „kybernetische Störquelle" (Liggieri 2019: 136; Uhl 2014: 21) sehen, sondern als Notwendigkeit für den ökonomischen und funktionalen Erfolg eines technischen Systems (Liggieri 2019: 135f.).

## 2.2 Relationales Be- und Entlastungskonzept

In der Arbeits- und Industriesoziologie werden Belastung und Beanspruchung als „Auswirkungen der Arbeit in ihrer jeweiligen historischen Gestaltungsform auf die Menschen" (Georg et al. 2013: 112) betrachtet. Ein Augenmerk liegt hierbei auf soziotechnischen Entwicklungen wie Rationalisierung, Differenzierung, Digitalisierung und Subjektivierung der Arbeitswelt und der damit einhergehenden Ab- oder Zunahme sowie dem Aufkommen neuer Be- und Entlastungen (Böhle 2018; Voß 2010). Eine wesentliche Rolle spielt die Gestaltung der Arbeitsanforderungen, die sowohl ein Zuviel als auch Zuwenig an psychischer oder physischer Belastung verursachen kann (Böhle 2018). Nach Fritz Böhle (2018) entsteht Belastung durch ein Missverhältnis zwischen Arbeitsbedingungen, -anforderungen und -aufgaben. Für ihn bedeutet eine relationale Betrachtung, dass etwaige Missverhältnisse immer in Bezug auf die Arbeits-

[4] Pfeiffer/Suphan (2018) machen deutlich, dass die Arbeits- und Industriesoziologie bereits Ende der 1980er Jahre die Bedeutsamkeit von Erfahrung und subjektivierendem Arbeitshandeln herausgestellt hat (vgl. Böhle/Milkau 1988; Böhle/Rose 1992).

situation ermittelt werden müssen und mehrdimensional zu denken sind. Diese Missverhältnisse führen zu einer erschwerten Handlungsregulation und -kontrolle, die Beschäftigte in der Arbeitssituation überfordern und Belastungen auslösen (Böhle 2018). Böhles Perspektive gibt Hinweise darauf, dass erweiterte Dispositions- und Handlungsspielräume nicht automatisch mit einer gesteigerten Kontrolle über die eigenen Arbeitsbedingungen einhergehen (ebd.). Ähnliche Beobachtungen liegen zur Einführung digitaler Technologien vor, die zwar neue Möglichkeiten des Handels eröffnen und (Wahl-)Freiräume schaffen, durch die Beschäftige mit unzureichender Erfahrung oder einer „erlernten Inkompetenz" jedoch die Kontrolle über ihre Arbeitsmittel verlieren (Brödner 2019).

Der Wandel von der Industriegesellschaft zur Wissens- und Dienstleistungsgesellschaft und die fortschreitende Technisierung und Digitalisierung versprechen, körperliche Tätigkeit zu reduzieren und die arbeitenden Körper zu entlasten. Diese „Entkörperlichung von Arbeit" und der Fokus auf kognitive Tätigkeiten gehen jedoch mit einer Vereinseitigung der Sinne und einer Verschiebung von Belastungen einher, wenn sich psychische und neue körperliche Belastungen durch einseitiges Bewegungsverhalten verbinden (Böhle 2018).

Um die Möglichkeiten der Arbeitsentlastung genauer einzuschätzen, folgen wir Böhle und verstehen Entlastung als eine ausbalancierte Konstellation zwischen Arbeitsbedingungen, -anforderungen und -aufgaben, die wir als Entlastungstrilogie bezeichnen. Diese Perspektive ergänzen wir um die relationalen Annahmen von Lucy Suchman (1998) und verstehen Entlastung als einen Effekt, der sich in und durch verschiedene Mensch-Maschine Konfigurationen gene-riert. Deshalb muss die Entlastungstrilogie in Bezug auf die Arbeitssituation und die jeweiligen Mensch-Maschine-Konfigurationen ermittelt werden.

## 2.3 Forschungsthesen

Für unsere Untersuchung fassen wir die bisherigen Überlegungen in drei Forschungsthesen zusammen:

1. Be- und Entlastung durch die Nutzung digitaler Schnittstellentechnologien wie Exoskelette und AR-Tools ergeben sich als relationale Effekte aus dem Zusammenspiel der digitalen Technologien mit der Arbeitsorganisation sowie den konkreten Arbeitsbedingungen, -anforderungen und -aufgaben.
2. Es existiert eine Vielzahl von Vorstellungen und Erwartungen in Bezug auf MMB, die sich anhand zentraler Konfigurationsmerkmalen typisieren lassen und in Bezug auf menschliche Handlungs- und Kontrollfähigkeiten unterscheiden.
3. Entlastungsversprechen gehen demgegenüber von sehr spezifischen und eindimensionalen Vorstellungen von MMB aus.

# 3 Daten und Methode

Unser Beitrag stellt zunächst die Vorstellungen[5] von neuartigen MMB vor, in denen die Nutzung von Exoskeletten und AR-Brillen eine Entlastung in der Bauwirtschaft versprechen. Dazu referieren wir Befunde aus Dokumentenanalysen und teilnehmender Beobachtung. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt skizzenhaft, da die Anwendung beider Technologien noch am Anfang steht. Sie gliedert sich wie folgt: Zuerst stellen wir die Entlastungsversprechen von Exoskeletten und AR-Brillen und ihre Implikationen für die vorgestellten MMB dar. Danach diskutieren wir anhand von drei idealtypisch unterschiedenen MMB ihre möglichen Wirkungen auf Be- und Entlastung in künftigen Arbeitswelten im Bausektor.

Unser erstes Fallbeispiel beschäftigt sich mit der geplanten Nutzung von Exoskeletten im Baubereich, um körperlich besonders schwere Arbeiten zu erleichtern und Unfallrisiken zu verringern. Dafür haben wir elf wissenschaftliche Studien im Zeitraum von 2012-2019 analysiert, in denen Exoskelett-Einsätze in der Industrie, im Baugewerbe sowie für noch nicht festgelegte Use-Cases untersucht wurden. Im Zentrum stehen die dort artikulierten Potenziale und Risiken von Exoskeletten. Diese Analyse haben wir durch Interviews und teilnehmende Beobachtung in Unternehmen der Holzvorfertigung um ethnographische Elemente ergänzt. Auf dieser Basis stellen wir die gegenwärtigen Entlastungsversprechen dar, die aus ingenieurswissenschaftlicher und informationstechnischer Sicht sowie aus der Sicht der Holzbetriebe als potenzielle Anwender formuliert werden.

Unser zweites Fallbeispiel beschäftigt sich mit AR-Brillen, die baurelevante Echtzeitdaten für Fachkräfte zur Verfügung stellen, um zum Beispiel über Versorgungleitungen im Mauerwerk zu informieren. Diesbezüglich fassen wir die Ergebnisse einer Analyse von 28 Werbevideos im Zeitraum von 2014-2020 zusammen[6]. In Ergänzung haben wir auch hier ethnographisches Material aus Technologiedemonstrationen im Baugewerbe in die Analyse miteinbezogen.

# 4 Ergebnisse

## 4.1 Exoskelette in der Baubranche: Erwartungen und Risiken

Alle Untersuchungen zu den Anwendungsmöglichkeiten von Exoskeletten gehen von dem Versprechen aus, mit ihnen körperliche schwere Arbeit zu entlasten und ein bewegungsergonomisches Arbeiten herbeizuführen. Körperliche Ermüdung, Verletzungen oder Verschleiß sollen verhindert oder rausgezögert und so eine Verbesserung der Gesundheit der Fachkräfte sowie der Produktivität und Effizienz auf Unternehmerseite bewirkt werden. Die Literaturanalyse zeigt, dass von ingenieurs-, computer- und bewegungswissenschaftlicher Seite positive Wirkungen eines Exoskelett-Einsatzes erwartet werden, wie **muskuloskelettale Entlastung**

[5] Als „Vorstellungen“ bezeichnen wir hier die imaginierte Nutzung der technologischen Optionen (Exoskelette/ AR-Brillen) in Anwendungskontexten. Es handelt sich um vorgestellte Nutzungsmöglichkeiten und damit verbundene Entlastungs- und Leistungsversprechen, denen in der Praxis bislang nur erste Pilotanwendungen gegenüberstehen.

[6] Die Videoanalyse erfolgte nach einem deduktiv gemeinsam mit Informatikern entwickelten Kategoriensystem unter Einsatz der Software „MAXQDA“. Die Ergebnisse werden im Jahr 2021 veröffentlicht.

(Delang et al. 2016; De Looze et al. 2016; Hensel/Keil 2018; Kim et al. 2019; Rogge et al. 2016; Ray/Teizer 2012; Polunin et al. 2016), **Steigerung der Arbeitssicherheit** (Delang et al. 2016; De Looze et al. 2017) sowie **Leistungssteigerung** beziehungsweise gesteigertes **Durchhaltevermögen** der Beschäftigten (De Looze et al. 2017; Rogge et al. 2016; Kim et al. 2019; Polunin et al. 2016).

In einer Befragung von Industrieexpert*innen wird auf das **komplementäre Zusammenwirken** von Mensch und Exoskelett hingewiesen. Die Menschen blieben Entscheidungsträger*innen und ihre positiven Eigenschaften in Abgrenzung zu Robotern erhalten:

> „main benefit [...] of an exoskeleton above any type of robot system [...] [is that] one will fully profit from the human's creativity and flexibility, while he is the one in charge, and there is thus no need for robot programming or teaching of robots" (De Looze et al. 2017: 197)

Zugleich berichten die Studien von potenziellen Risiken wie einer **Lastumverteilung**, die zu einer Dekonditionierung oder Überbelastung von Muskelgruppen führe (De Looze et al. 2016; Hensel/Keil 2018). Risiken, die durch eingeschränkte Bewegungsfreiheit und die fehlende Adaption der Exoskelette an die genauen Arbeitsbedingungen und -aufgaben erwartbar sind (vgl. Entlastungstrilogie), werden kaum diskutiert. In unseren Interviews weisen die Beschäftigten der Holzverarbeitung jedoch auf erwartbare Probleme durch unzureichende Lademöglichkeiten, fehlende Orte der sicheren Ablage und des kontrollierten Anlegens, fehlende individuelle Anpassung der Exoskelette sowie allgemein eine differente Wahrnehmung der tatsächlichen Belastung hin, die vor allem Knie- und Handgelenke betreffe. Zudem äußern sie Bedenken zur **Akzeptanz**, die sie im Falle geringer Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit als gering einschätzen (Usability). In den Studien werden Themen wie Komfort, Hygiene, Haltbarkeit, Praktikabilität und Rekonfigurierbarkeit problematisiert (De Looze et al. 2017; Kim et al. 2019; Ray/Teizer 2012). Damit stellt sich die Frage, ob Exoskelette auf Tätigkeitsprofile angepasst werden können, vor allem, wenn diese von nicht-repetitiven und spontanen Bewegungsmustern geprägt sind. In einer Expertenbefragung von Sunwook Kim und Kollegen (2019) wird erwogen, dass Beschäftigte durch Exoskelette **riskantere Arbeitspositionen** einnehmen, da sie sich bei ihrer Aufgabenbewältigung sicherer fühlen (ebd.: 188). Ein weiteres interessantes Ergebnis ist dort, dass das Tragen eines Exoskeletts als Zeichen von körperlicher Schwäche bewertet werden könne (ebd.). Dies deckt sich mit unseren Beobachtungen auf einer Baustelle, als zwei Bauarbeiter mit vierzig Jahren Berufserfahrung passive Exoskelette zur Erprobung erhielten. Sie berichteten im Anschluss, dass sie das Exoskelett in ihren gewohnten Bewegungen einschränke und sie die Nutzung als ein **Eingeständnis von Schwäche** empfänden. Sie hätten die Tätigkeit im Baubereich aber gewählt, weil sie „körperlich etwas schaffen" wollten. Die universale Annahme, körperliche Tätigkeit sei zu reduzieren, muss für Arbeitskontexte relativiert werden, in denen sich die Identifikation mit dem Beruf auch über physische Erfahrungen vollzieht.

Die Bedeutung von **Körperlichkeit und Materialität** im Handwerkerberuf betont auch der technische Leiter einer Holzvorfertigung. Er beschreibt den Beruf des Zimmerers/der Zimmererin als „moderat körperlich anstrengend", geprägt von viel Außenarbeit sowie der Vorliebe, mit Holz zu arbeiten. Durch die ganzheitliche Tätigkeit stelle sich ein gewisser Stolz über das Geschaffene ein:

> „Wir im Holzbau, ein Zimmerer wird immer mit einem gewissen Stolz behaupten, dass er Zimmermann ist. Das liegt in seiner Natur. Er ist ‚der vom Dach', der das möglich macht, der alles, in Anführungszeichen, alles kann. [...] Für die Zimmerer, die jetzt bei uns arbeiten, ist immer wichtig, dass sie auch diesen Gesamtzusammenhang haben [...]" (Tech. Leiter 1).

Dennoch berichtet er auch von Berufskrankheiten und dem Verschleiß der Knie- und Handgelenke, sodass er durchaus Vorteile in einer entlastenden MMB beispielsweise durch die passive Unterstützung von Exoskeletten sieht. Die Reduktion physikalischer Belastung und die reine Maschinenbedienung werde im Handwerk jedoch als „industrieller Beruf" bewertet, mit dem sich Zimmerer*innen kaum identifizierten:

> „Maschinenführer, da denkt man im ersten Moment, der muss ja nichts machen, der muss da ja nur auf den Knopf drücken, die Daten kommen ja fertig runter. Ist nicht so. Der muss relativ viel Holzbearbeitungswissen haben, der muss wissen, wie es später weitergeht. Er muss den Prozess vorher verstanden haben, den danach, das ist eigentlich auch eine Schlüsselposition. Deswegen auch immer naheliegend, dass man Zimmerer, die jetzt quasi altershalber oder gesundheitlich nicht mehr voll tatkräftig mitmachen können, die dann auf diese körperlich leichtere Position von Maschinenführern schiebt. Selbst das ist für manche zu weit weg [vom Handwerk]. Das ist zu wenig Holz für die. Das ist dann wieder Industrie und „mag ich nicht", das sind halt Handwerker" (Tech. Leiter 1).

Zugleich räumt er ein, dass der Fachkräftemangel dazu führe, dass sie überlegten, wie Berufe im Holzhandwerk attraktiver werden können. Die Einführung digitaler Technologie bezeichnet er dafür als „Zugpferd", um vor allem die jüngere Generation anzusprechen. Dass sich die Arbeit im Holzhandwerk überwiegend durch anstrengende, **unangenehme körperliche Tätigkeit** charakterisiere, weist er hingegen als gesellschaftliches Vorurteil zurück:

> „Das Bild, das viele im Kopf haben: Zimmermann ist körperlich anstrengend. Es gibt da Tätigkeiten oder Bereiche, die einfach anstrengend sind. Jetzt haben wir diesen Fall. Wir, dass wir diesen Facharbeitermangel haben und wir haben irgendwie Schwierigkeiten, da immer ausreichend gute Lehrlinge zu finden [...]. Was müssten wir tun, damit wir mehr Facharbeiter und Lehrlinge finden und mehr, die diesen Beruf ausüben wollen? Okay, der Kollege sagt, körperlich anstrengend ist nicht. [...] das mag nur ein Vorurteil in der Bevölkerung sein [...]. Dann haben wir dieses ganze Draußenarbeiten, für den einen ist es ein Wohl, für den anderen ist es eben nichts [...]. [Technik] ist doch trotz allem immer wieder ein Zugpferd. Deswegen nochmal diese Innovation. Die neue Maschine, die neuste Technik, da ist für alle irgendwie erstrebenswerter mitzumachen" (Tech. Leiter 1).

Probleme der **riskanten Lastumverteilung** zeigen sich bei einer Exoskelett-Demonstration eines anderen Holzvorfertigeres. Bezüglich eines Oberkörper-Exoskeletts, das bei Bückbewegung den Rücken entlasten soll, wird die Umverteilung der Belastung auf den Oberschenkelmuskel vom Händler als wünschenswert beschrieben. Der Oberschenkelmuskel sei einer der stärksten Muskelgruppen und ein zweiwöchiger Muskelkater ein Zeichen von optimaler Bewegungsergonomie. Diese einseitige Sicht auf den Körper von Fachkräften in der Holzvorfertigung wird vor Ort problematisiert, weil diese teils bereits unter Knieproblemen leiden, etwa, weil in der Fertigungshalle auf Betonboden gearbeitet wird. Erkennbar wird, dass die Folgen der Lastumverteilung in der Praxis noch unbekannt sind.

Während der Demonstration offenbart sich auch die Bedeutung von **notwendigem Systemwissen** im Umgang mit technischen Hilfsmitteln. Ein Mitarbeiter soll das Exoskelett bei der Tätigkeit des Fügens und Verleimens von Holzbalken einsetzen. Er fühlt sich in seinen gewohnten Bewegungsabläufen eingeschränkt, weiß zunächst nicht, wie er die Aufgaben unter

den neuen Bedingungen erledigen kann. Zudem stört ihn ein Gurt, der über den oberen Rücken verläuft. Während der Erprobung legt der Mitarbeiter diesen Gurt über seinen Nacken. Der Händler springt daraufhin ein und erklärt, dass der Gurt über den Rücken verlaufen müsse, damit der Nacken nicht geschädigt werde. Für eine erfolgreiche Entlastung sind sowohl explizites Nutzerwissen über die zuvor implizit ausgeführten Bewegungsabläufe nötig als auch Informationen über die ergonomische Funktionalität von Exoskeletten, um die gewünschten Gesundheits- und Präventionseffekte zu realisieren. Ein Exoskelett allein kann die bewegungsergonomischen Probleme nicht lösen, was uns zur Frage führt, was die Nutzer*innen von Exoskeletten wissen müssen, um bewegungsergonomisch und sicher zu arbeiten.

Unsere Untersuchungen bestätigen, dass es sich bei **Arbeitsergonomie und Entlastung** um **relationale Effekte** handelt, die in und durch konkrete Mensch-Exoskelett-Konfiguration entstehen, nicht durch die Technologie alleine. Entlastung setzt nicht nur ein passendes Design mit entsprechender ergonomischer Funktionalität voraus, sondern auch Wissen über die ergonomisch korrekte Nutzung der neuartigen MMB und über mögliche Interaktionseffekte mit Vorschädigungen und Bewegungsschwachstellen bzw. wie die Wirkungen eines Exoskeletts auf den Körper insgesamt einzuschätzen sind.

## 4.2 AR-Brillen in der Baubranche: Erwartungen und versprochene Leistungen

IT-Unternehmen verwenden oftmals Videos, um den künftigen Einsatz von Industrial Augmented Reality (IAR)-Geräten im Bausektor voranzutreiben. Wir haben 27 solcher Videos hinsichtlich ihrer Annahmen über Anwendungssituationen und ihr Entlastungsversprechen untersucht. Die Analyse zeigt, dass IAR-Technologien neue und schnellere Lernmöglichkeiten zugeschrieben werden (RE'FLEKT 2014; FarmLifeTV/ACGO 2017; Bosch Mobility Solutions 2018; Capgemini/BMW 2019; Purdue University 2018; Immersion 3D 2016; PTC 2018) und in Form einer Brille zu einem händefreien Arbeiten führen sollen (DHL 2015; Fujitsu 2018; Upskill/Boeing 2018). Das Hauptergebnis ist jedoch, dass die Videos widersprüchliche Vorstellungen über die IAR-Nutzung artikulieren. Der Ausgangspunkt ist meist die Zunahme der Aufträge in Industrie- und Bausektor gegenüber dem Mangel an Fachkräften, die die komplexer werdenden Produktionsschritte bewältigen können. Die Nutzung von IAR-Brillen verspricht, die Informationen nutzerfreundlich zur richtigen Zeit am richtigen Ort zu visualisieren (bspw. als „Explosionszeichnung" aller technischen Teile). Konkurrierende Vorstellungen offenbaren sich darin, dass IAR-Nutzer*innen einerseits als **Experten in-situ** beschrieben werden, die Probleme sowohl durch neue Lernstrategien als auch durch neue Informationsvisualisierung lösen können (Beca 2018; PTC 2019; PTC 2020a). Die Rede ist vom „augmented man of technology" (Immersion 3D 2016). In anderen Anwendungsdarstellungen wird andererseits versprochen, dass in Zukunft jede/r durch AR-Brillen in die Lage versetzt werde, in der Fertigung zu arbeiten – auch **ohne spezielle Kenntnisse** oder Berufserfahrung (Aveva Group 2019; Purdue University 2018). So entsteht der Eindruck, Erfahrung, Systemwissen und Handlungskompetenzen seien bis hin zum impliziten Wissen durch die Mensch-Daten-Brillen-Verbindung substituierbar und könnten jederzeit von AR-Brillenträger*innen abgerufen werden. Diese Annahme geht mit einer Überschätzung der IAR-Brille und einer Unterschätzung der Entlastungstrilogie einher, wie auch Vor-Ort-Beobachtungen zeigen.

Mit Beginn der Covid-19-Pandemie kommt es auch bei Technologieunternehmen zu Produktionsverzögerungen und Lieferengpässen – und zu ersten Erwartungen einer steigenden Nachfrage nach AR-Lösungen durch Telearbeit und die Reduzierung der Beschäftigten vor Ort (ABI Research 2020; IDC 2020). Der Vergleich von zwei Werbevideos von PTC aus 2020 zeigt, dass AR-Lösungen nun stärker als Beitrag zur Sicherung der Kontinuität wahrgenommen werden: Wird zuvor dem Fähigkeiten- und Wissenstransfer eine bedeutsame Rolle zugeschrieben, um wettbewerbsfähig zu bleiben (PTC 2020a), verschiebt sich nun der Fokus auf das Aufrechterhalten der Produktion, die Anpassung bei Veränderungen (Agilität) sowie die Vorbereitung der Beschäftigten („*being prepared*") auf eine unsichere Zukunft (PTC 2020b).

Den potenziellen Einsatz von AR-Brillen können sich mehrere Befragte in der Holzvorfertigung vorstellen. Im Vergleich zu Exoskeletten erscheint die AR-Technologie grundsätzlich greifbarer und mögliche Applikationsbereiche naheliegender. Tatsächlich ähneln bereits genutzte Mess- und Steuerungstechnik den Funktionen, Möglichkeiten und Nutzungsintentionen von AR-Technologien, wie beispielsweise 3D-Laserscanner, die dreidimensional und fotorealistisch Bauprojekte scannen, messen und in einer CAD-Software als dreidimensionale Baumodelle visualisieren. Zudem schließen die Inhalte der technikeuphorischen Videos so gut an die Erwartungen im Anwendungsfeld an, dass ihre sogar als Praxisfälle wiedergegeben werden:

> „Und es soll im Konzern zunächst einmal so angewendet werden [...], wenn der Arbeiter nicht weiterkommt, dass er sich einen zweiten Rat intern oder extern holen kann. Und dass er eben über die Brillen dann eingeblendet bekommt, zum Beispiel eine Explosionszeichnung oder eine handschriftliche Skizze, die man dann am Rechner macht. Oder dass - ein Fall aus der Praxis - wenn er dort jetzt fünf, sechs Filter sieht irgendwo an einem Motor, dass ihm ein Externer zeigt mit dem Mauszeiger: Das ist der Ölfilter, das ist der Kraftstofffilter und das ist der Luftfilter oder so. Also das man eben über die Technologie sich einfach- dass man das Knowhow erweitert. Auch den Leuten draußen eine wirkliche Hilfestellung leistet" (Investitionsberater 1).

In diesem Unternehmen befinden sich zum Befragungszeitpunkt AR-Brillen und Exoskelette noch in der Erprobung und der dargestellte Anwendungsfall an einem Motor entstammt einer anderen Branche. Welche technischen Visualisierungen und Unterstützungsleistungen auf der Basis vernetzter Daten- und Informationsflüsse erwartbar sind, wer diese pflegt und bereitstellt, bleibt hier wie in ähnlichen Demonstrationen unklar.

## 4.3 Be- und Entlastung in verschiedenen Konfigurationen der Handlungsfähigkeit von Menschen, Maschinen und Software

Um die Realisierungschancen der Entlastungsversprechen besser beurteilen zu können, diskutieren wir die Technologienutzung in drei typisierten Konfigurationen von MMB, die wir mit Blick auf Chancen und Risiken einer engeren Mensch-Maschine-Interaktion in cyberphysischen Systemen in der Baubranche entwickelt haben (Kropp/Wortmeier 2021). Hier fokussieren wir darauf, welche Entlastungen und Belastungen in neuen MMB erwartbar sind. Tabelle 1 stellt anhand unterschiedlicher Handlungsgewichtungen die Folgen verschiedener Konfigurationen in Bezug auf Be- und Entlastung vor.

Eine Fachkraft in der **vertrauten Rolle eines Maschinenführers** (ebd.: 106f.) nutzt beispielsweise die AR-Brille als Werkzeug, das sie temporär anwendet und dessen Nutzung sie

selbst bestimmt. Die AR-Brille erweitert die Handlungsspielräume der Beschäftigten und kann in Koordinations- und Abstimmungsprozessen entlasten. Weitere Entlastungen entstehen durch die Standardisierung und Unterstützung von Arbeitsprozessen durch AR (z. B. visuelle Qualitätskontrolle) und die Bereitstellung zusätzlicher Informationen reduziert die Risiken von unvollständigem Fallwissen. Die Fachkräfte erleben sich weiterhin als verantwortliche Entscheider*innen. Für den kompetenten Umgang mit den AR-Tools benötigen sie allerdings fachliches Systemwissen und technisches Anwenderwissen: Sie müssen die Grenzen der Visualisierungen kennen, die visualisierten Informationen auf Plausibilität prüfen und gegebenenfalls Fehlleistungen erkennen und eingreifen können. Belastungen sind dann erwartbar, wenn die erweiterte Realität den Annahmen der Fachkräfte oder ihren Arbeitsaufgaben nicht entspricht und diese Widersprüche nicht aufgelöst werden können. Belastungsrisiken ergeben sich auch durch die Unterschätzung der soziotechnischen Hybridität von AR-Brillen als Komponente in cyberphysischen Bausystemen, sodass der Bezug zu der konkreten Entlastungstrilogie unter Umständen fragmentiert bleibt.

Der **Mensch als Maschinenbediener** (ebd. 107ff.) beschreibt eine Fachkraft, die sich den technischen Funktionsbedingungen anpasst und als Handlanger der Maschine bzw. „Anhängsel" (Deuse et al. 2018: 209) fungiert. Technologien wie AR-Brillen werden in dieser Konfiguration selbsttätig und wählen aus hinterlegten Informationsarchiven Handlungsoptionen aus, die sie der Fachkraft im Idealfall intuitiv und verständlich darstellen. In den Visualisierungen hinterlegte Interessen anderer bleiben jedoch verborgen, viel mehr besteht die Vorstellung, Beschäftigte müssten nicht mehr viel wissen, wenn sie mir AR-Unterstützung arbeiten, da die notwendigen Informationen „abrufbar" seien. Dies kann zur Entlastung führen, wenn komplexe Arbeitsprozesse vereinfacht werden. Andererseits können AR-Lösungen in Bezug auf Wissensarchivierung und -transfer überschätzt und der durch „erlernte Inkompetenz" (Brödner 2019) verursachte Stress der Beschäftigten im technischen Störfall unterschätzt werden.

Eine **partnerschaftliche Mensch-Maschine-Kooperation** (Kropp/Wortmeier 2021: 109ff.) zeichnet sich durch eine kooperative Aufgabenerfüllung aus. Beispielsweise werden die kognitiven Vorzüge von Menschen und die bewegungsstrukturierende Fähigkeit von Exoskeletten verknüpft und so Arbeitsabläufe ermöglicht, die zuvor als nicht machbar, als zu gesundheitsschädlich oder zu riskant eingestuft wurden. So harmonisch dieses „kollaborative" Arbeiten wirkt, gewinnt nun der unter Umständen belastende Umgang mit Interdependenz, Ungewissheit, unvollständigem Wissen und fehlender Transparenz an Bedeutung. Die enge Interaktion von Mensch, Maschine und Entscheidungskontext führt in Bezug auf die Handlungskontrolle zu Wissens-, Bewertungs- und Komplexitätsproblemen, die aus der Perspektive der einzelnen Fachkraft nicht mehr gelöst werden können. In dieser Konfiguration entstehen Belastungsrisiken durch eine Unterschätzung des vernetzten Gesamtsystems, in dem Beschäftigte nicht mehr übersehen, was sie eigentlich wissen oder bewerten müssten, jedoch nolens volens auf Unsicherheiten reagieren müssen. In unserer Untersuchung wurden die Beschäftigten in der Technologieerprobung weder ausreichend darüber informiert, welches ergonomische Bewegungswissen sie benötigen, um ein Exoskelett gesund einzusetzen, noch welche Kriterien und Schwellenwerte in die Steuerung der Exoskelette eingehen. Wieder einmal wird die technische „Selbstorganisation" überschätzt und die Notwendigkeit von Nutzerwissen für die

Kontrolle hybrider Systeme unterschätzt. Dieses bekannte Automatisierungsparadox (Bainbridge 1983) kann zu neuen Belastungen und Überforderungsempfindungen führen und erhöht die Risiken von Unfällen und Systemausfällen.

| **Merkmale** | **Mensch als Maschinenführer** | **Mensch als Maschinenbediener** | **Mensch-Maschine-Kooperation** |
|---|---|---|---|
| **Interdependenz** | Maschine erweitert und standardisiert menschliche Handlungsfähigkeit | Mensch unterstützt maschinelle Funktionsfähigkeit | Mensch und Maschine interagieren in opak vernetzten Systemen |
| **Veränderte Kompetenzen** | Setzt fachliches System- und technisches und organisatorisches Anwendungswissen voraus | Reduziert Anwenderwissen, Risiken „erlernter Inkompetenz" (Brödner 2019) | Risiken fragmentierten Wissens, fehlende Transparenz an den Schnittstellen von System- und Anwenderwissen |
| **Verteilte Kontrolle** | Entscheidungshorizonte weitgehend beim Menschen | Maschine definiert Entscheidungshorizonte weitgehend | Systememergente Entscheidungshorizonte außerhalb der Reichweite im CPS |
| **Entlastungspotenziale durch Exoskelette oder AR-Tools** | Mensch ist kontrollierender Agent und nutzt technische Unterstützung nach selbstgesetzten Zielen → (begrenzte) **Entlastung durch technische Hilfestellung/Assistenz bei Bedarf** | Mensch arbeitet der Technologie zu und wird von Krafteinsatz oder Informationsbeschaffung entlastet → **Entlastung durch maschinelle Leistung/ Übernahme** | Kooperative Aufgabenerfüllung; menschliche Flexibilität im Zusammenspiel mit technologischer Leistungs- und Ordnungsfähigkeit → **Neue Möglichkeiten der Aufgabenbewältigung** |
| **Belastungsrisiken durch Exoskelette/AR** | Unterschätzung technischer Interaktivität in vernetzten Systemen: **Risiken fragmentierter Kontrolle** durch maschinelle Eigenleistung | Überschätzung technischer Hilfsmittel (Simplifizierungsversprechen): **neue Belastungen durch Überforderung im Stör- oder Einzelfall** | Unterschätzung von Mensch-Maschine-Daten-Interaktivitäten über die MMB hinaus: **neue Belastungen durch Einbindung in intransparente Systeme** |

*Tabelle 1: Konfigurationsmerkmale von Mensch-Maschine-Konfigurationen (auf Basis von Kropp/Wortmeier 2021: 112)*

# 5 Fazit

Im Beitrag wurden die industriellen bzw. informationstechnischen Versprechen in Bezug auf physische und kognitive Entlastungen durch digitale Technologien diskutiert und den komplexen Anforderungen gegenübergestellt, die erfüllt sein müssen, um anstelle einer Verschiebung von Belastungen zu robusten Entlastungen für die Fachkräfte der Baubranche zu führen. So werden zugleich das große Potenzial, aber auch die Risiken der Anwendung von digitalen Schnittstellentechnologien für Fachkräfte erkennbar.

Sowohl im Fall von Exoskeletten als auch bei AR-Brillen handelt es sich um eindimensionale Entlastungsversprechen, die weder die Unterschiedlichkeit der potenziellen Nutzer*innen noch die konkreten Arbeitssituationen in den Blick nehmen. Auch die Studie von Maren Evers und Kolleg*innen (2019) kommt zu diesem ambivalenten Ergebnis für den Einsatz von AR-Brillen. Teils wird ein veraltetes, kybernetisches Menschenbild als „Fehlerquelle" in den Vorstellungen fortgeschrieben und den Herausforderungen der Arbeitsplatzgestaltung im Umgang mit hybriden Systemen nicht ausreichend Aufmerksamkeit gewidmet. Teils sind sich Technikentwickler*innen der neuen Gefahren und Risiken durch Datenbrillen bewusst.

Als problematisch bewerten wir auch die wiederholte Beobachtung, dass Entwickler*innen und Hersteller*innen gerade zu Beginn des Technikentwicklungsprozesses mehr auf die Erfahrungen und Potentiale aus anderen Anwendungsbereichen zurückgreifen als Arbeitsplatz- oder Bedarfsanalysen in Bezug auf die Zielgruppen und -kontexte zu erstellen. Die Technologien werden als digitale Universallösung für komplexe und strukturelle Probleme der Bauwirtschaft wie Fachkräftemangel, Berufskrankheiten und unsichere Arbeitskontexte gepriesen. Die Versprechungen bedienen dabei oftmals Rationalisierungsinteressen, wie etwa den Wunsch, körperliches Durchhaltevermögen zu steigern sowie Kompetenzen und Wissen in AR-Brillen zu archivieren. Sie vermischen die Vorstellungen von Industriearbeiter*innen, Zimmerer*innen und Baufachkräften. Für letztere fehlen Belastungsanalysen in Hinblick auf den Exoskelett- und AR-Brillen-Einsatz. Die Voraussetzungen ihrer Nutzung in den jeweiligen Arbeitsumgebungen werden kaum berücksichtigt, obwohl Baustellen sowie Fertigungshallen, in denen mit Holz gearbeitet wird, sich in Bezug auf Arbeitsanforderungen, -bedingungen und -aufgaben von den Produktionshallen großer Automobilhersteller deutlich unterscheiden: Entlastungsbedarfe und Belastungsrisiken entstehen jedoch in Abhängigkeit von Arbeitskontexten (Böhle 2018).

Die typisierten MMB machen zudem darauf aufmerksam, dass je nach Konfiguration, ob also digitale Maschinen eher als Werkzeug wahrgenommen werden, Fachkräfte durch Digitaltechnik zum „Handlanger" werden oder mit digitalen Maschinen „kooperieren", verschiedene Ent- und Belastungskonstellationen erwartbar sind. So wird deutlich, dass Risiken im Umgang mit digitalen Technologien sowohl durch Unterschätzung von Systemkomplexität oder Expertise, Erfahrung und implizitem Wissen als auch durch Überschätzung der Robustheit und Selbstorganisationsfähigkeit intelligenter Technologien entstehen (Grote 2018; Leonardi/Barley 2010). Erst adäquate Belastungs- und Bedarfsanalysen für die jeweiligen Arbeitskontexte und die komplexen Interaktionsbedingungen in cyberphysischen Systemen machen robuste Entlastungswirkungen durch die Nutzung digitaler Möglichkeiten erwartbar; dabei bleiben organisatorische, kognitive und kooperative Problemlösungskompetenzen und Erfahrungen auf

Seiten der Beschäftigten vermutlich eine wesentliche Voraussetzungen für die berufliche Handlungsfähigkeit, -kontrolle und Verantwortungsübernahme (Hirsch-Kreinsen/Karacic 2019; Pfeiffer 2017).

# Literatur

ABI Research. 2020. COVID-19 Pandemic Impact: Manufacturing Slowdowns and Increased Demand will Balance to See 16 Million Total AR and VR HMD Shipments in 2021. URL: https://www.abiresearch.com/press/covid-19-pandemic-impact-manufacturing-slowdowns-and-increased-demand-will-balance-see-16-million-total-ar-and-vr-hmd-shipments-2021/ (Zugriff: 6. Dezember 2020).

Aveva Group. 2019. AR/VR Empowering the Digital Workforce & Reducing Human Error. URL: https://www.youtube.com/watch?v=yL29Gm1wzxs (Zugriff: 15. September 2020).

Bainbridge, Lisanne (1983): Ironies of automation. Automatica 19: 775–779.

Beca. 2018. Example of the use of augmented reality in manufacturing. URL: https://www.youtube.com/watch?v=dZP4rjjBqPw (Zugriff: 15. September 2020).

BG Bau. 2019. Zahlen, Daten, Fakten 2019. Wichtiges auf einen Blick. URL: https://www.bgbau.de/fileadmin/Medien-Objekte/Medien/Broschuere_Flyer/Flyer_Zahlen_Daten_Fakten_2019.pdf (Zugriff: 6. Dezember 2020).

BG Bau. 2020. Alarmierende Zahlen am Bau: Tödliche Arbeitsunfälle deutlich angestiegen. URL: https://www.bgbau.de/mitteilung/toedliche-arbeitsunfaelle/ (Zugriff: 6. Dezember 2020).

BG Bau. 2020a. Gesundheitsgefahren. URL: https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/maschinen/gesundheitsgefahren/ (Zugriff: 6. Dezember 2020).

Berufsgenossenschaft für Gesundheitsienst und Wohlfahrtspflege (BGW) (Hg.) (2017): Pflege 4.0. Einsatz moderner Technologien aus der Sicht professionell Pflegender. Forschungsbericht. Paderborn: Bonifatius.

Bitkom. 2020. Fact sheet. Augmented Reality (AR) & Virtual Reality (VR). URL: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-04/bitkom_fact_sheet_ar-vr_200421_1.pdf (Zugriff: 6. Dezember 2020).

Böhle, Fritz (2018): Arbeit und Belastung. In: Böhle, Fritz; Voß, Günter G.; Wachtler, Günther (Hg.): Handbuch Arbeitssoziologie. Band 2: Akteure und Institutionen. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 59–98.

Böhle, Fritz; Bolte, Annegret; Drexel, Ingrid; Dunkel, Wolfgang; Pfeiffer, Sabine; Porschen, Stephanie (2009): Umbrüche im gesellschaftlichen Umgang mit Erfahrungswissen. Theoretische Konzepte, empirische Befunde, Perspektiven der Forschung. München: ISF.

Böhle, Fritz; Rose, Helmuth (1992): Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautamtisierten Systemen. Frankfurt a. M./New York: Campus Verlag.

Böhle, Fritz; Milkau, Brigitte (1988): Vom Handrad zum Bildschirm. Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. Frankfurt a. M./New York: Campus Verlag.

Bosch Mobility Solutions. 2018. Bosch Service Trainings mit Augmented Reality. URL: https://www.youtube.com/watch?v=VKa6xjJznLY&t=165s (Zugriff: 15. September 2020).

Brödner, Peter (2019): Grenzen und Widersprüche der Entwicklung und Anwendung „Autonomer Systeme". In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Karačić, Anemari (Hg.): Autonome Systeme und Arbeit. Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeit. Bielefeld: transcript, 69–97.

Capgemini/BMW. 2019. Augmented reality training for BMW assembly line workers. URL: https://www.youtube.com/watch?v=V0WrCf8PbEk&t=52s (Zugriff: 15. September 2020).

De Looze, Michiel P.; Bosch, Tim ; Krause, Frank; Stadler, Konrad S.; O'Sullivan, Leonard W. (2016): Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics 59 (5): 671–681. DOI: 10.1080/00140139.2015.1081988.

De Looze, Michiel P.; Krause, Frank; O'Sullivan, Leonard W. (2017): The Potential and Acceptance of Exoskeletons in Industry. In: González-Vargas, José; Ibáñez, Jaime; Contreras-Vidal, Jose L.; Van der Kooij, Herman; Pons, José Luis (Hg.): Wearable Robotics. Challenges and Trends. Biosystems & Biorobotics 16: 195–199. DOI 10.1007/978-3-319-46532-6_32.

Delang, Kathleen; Winkler, Lena; Bdiwi, Mohamad.; Breitfeld, Marco (2016): Bedarfsgerechte Industrieanwendungen kollaborierender Mensch-Roboter-Systeme in Produktionsprozessen. Ein Ansatz zur Analyse konkreter Industriebedarfe. Zweite transdisziplinäre Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen", 12.12.–13.12.2016, Hamburg, 163–172.

Deuse, Jochen; Weisner, Kirsten; Busch, Felix; Achenbach, Marlies (2018): Gestaltung sozio-technischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden: Nomos, 195–213.

DHL. 2015. Vision Picking at DHL – AR in Logistics. URL: https://www.youtube.com/watch?v=I8vYrAUb0BQ&feature=emb_logo (Zugriff: 15. September 2020).

Evers, Maren; Krzywdzinski, Martin; Pfeiffer, Sabine (2019). Wearable Computing im Betrieb gestalten. Rolle und Perspektiven der Lösungsenwtickler im Prozess der Arbeitsgestaltung. Arbeit 28 (1): 3–27. DOI: doi.org/10.1515/arbeit-2019-0002.

FarmLifeTV/ACGO. 2017. The future is clear: How AGCO & Glass are changing manufacturing. URL: https://www.youtube.com/watch?v=habz0xdysoM (Zugriff: 15. September 2020).

Flemisch, Frank; Abbink, David; Itoh, Makoto; Pacaux-Lemoine, Marie-Pierre; Weßel, G. (2016): Shared control is the sharp end of cooperation: towards a common framework of joint action, shared control and human machine cooperation. IFAC-Papers Online 49: 72–77.

FujitsuFNC. 2018. Leveraging AR for Smart Manufacturing. URL: https://www.youtube.com/watch?v=S-vvSN04Tts (Zugriff: 15. September 2020).

Georg, Arno; Meyn, Christian; Peter, Gerd (2013): Belastung und Beanspruchung. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Minssen, Heiner (Hg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie. Baden-Baden: Nomos, 112–117.

Grote, Gudela (2018): Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden: Nomos, 215–231.

Hensel, Ralph; Keil, Mathias (2018): Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 72: 252–263.

Hensel, Ralph; Keil, Mathias; Mücke, Bruno; Weiler, Stephan (2018): Chancen und Risiken für den Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. ASU Zeitschrift für medizinische Prävention 53 (10): 654–661.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Karačić, Anemari (Hg.) (2019): Autonome Systeme und Arbeit. Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt. Bielefeld: transcript.

Hughes, Thomas P. (1986): The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera. Social Studies of Science 16 (2): 281–292.

IDC. 2020. How COVID-19 Drives Demand for Commercial AR and VR. URL : https://blogs.idc.com/2020/06/10/how-covid-19-drives-demand-for-commercial-ar-and-vr/ (Zugriff: 6. Dezember 2020)

Immersion 3D. 2016. Industrie 4.0 par Immersion. RA et usine du futur pour Sunna Design. URL: https://www.youtube.com/watch?v=NIyyb5Jj7tk (Zugriff: 15. September 2020).

Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V (Ifaa). 2019. Exoskelette. Physische Assistenzsysteme an Produktionsarbeitsplätzen. URL: https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote_und_Produkte/Zahlen_Daten_Fakten/ifaa_Zahlen_Daten_Fakten_Exoskelette.pdf (Zugriff: 6. Dezember 2020).

Kim, Sunwook; Nussbaum, Maury A.; Gabbard, Joseph L. (2016): Augmented Reality "Smart Glasses" in the Workplace: Industry Perspectives and Challenges for Worker Safety and Health. IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors 4 (4): 253–258. DOI: 10.1080/21577323.2016.1214635.

Kim, Sunwook; Moore, Albert; Srinivasan, Divya; Akanmu, Abiola; Barr, Alan; Harris-Adamson, Carisa; Rempel, David M.; Nussbaum, Maury A. (2019): Potential of Exoskeleton Technologies to Enhance Safety, Health, and Performance in Construction: Industry Perspectives and Future Research Directions. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors 7 (3-4): 185–191. DOI: 10.1080/24725838.2018.1561557.

Kropp, Cordula; Wortmeier, Ann-Kathrin (2021): Intelligente Systeme für das Bauwesen: überschätzt oder unterschätzt? In: Hartmann, Ernst A. (Hg.): Digitalisierung souverän gestalten. Innovative Impulse im Maschinenbau. Berlin: Springer Vieweg, 9–118.

Leonardi, Paul M; Barley, Stephen R. (2010): What's under construction here? The Academy of Management Annals 4 (1): 1–51. DOI: 10.1080/19416521003654160

Liao, Tony (2016): Mobile versus headworn augmented reality: How visions of the future shape, contest, and stabilize an emerging technology. New media & society 20 (2): 796–814.

Liggieri, Kevin (2019): Anthrotechnik/Ergonomie. In: Ders./Müller, Oliver (Hg.): Mensch-Maschine-Interaktion. Handbuch zu Geschichte, Kultur, Ethik. Berlin: J. B. Metzler, 232–234.

Pfeiffer, Sabine (2017): Arbeit des Servicetechnikers. In: Böhle, Fritz (Hg.): Arbeit als Subjektivierendes Handeln. Handlungsfähigkeit bei Unwägbarkeiten und Ungewissheit. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 339–360.

Pfeiffer, Sabine; Suphan, Anne (2018): Industrie 4.0 und Erfahrung – das unterschätzte Innovations- und Gestaltungspotenzial der Beschäftigten im Maschinen- und Automobilbau. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, 275–301.

Polunin; Konstantin; Klöckner, Maike; Kuhlenkötter, Bernd; Plegge, Christian (2016): Beschreibung bestehender Sicherheitsnormen und fachspezifischer Erkenntnisse bei der Entwicklung von Exoskeletten. Zweite transdisziplinäre Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen", 12.12.–13.12.2016, Hamburg, 307–316.

Porschen, Stephanie (2008): Austausch impliziten Erfahrungswissens. Neue Perspektiven für das Wissensmanagement. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

PTC 2020a. Augmented Reality Makes Frontline Workers Become Experts Faster. URL: https://www.youtube.com/watch?v=Thy69m0mzdM (Zugriff: 15. September 2020).

PTC 2020b. Building Workforce Resilience with Augmented Reality. URL: https://www.youtube.com/watch?v=NQcrx4pRaDA&ab_channel=VuforiabyPTC (Zugriff: 15. September 2020).

PTC. 2018. The Top 4 Reasons to Use AR for Manufacturing. URL: https://www.youtube.com/watch?v=P2RnOWqMRD8 (Zugriff: 15. September 2020).

PTC. 2019. How Augmented Reality Is Solving the Industrial Skills Gap. URL: https://www.youtube.com/ watch?v=NTAgMNqFUV8 (Zugriff: 15. September 2020).

Purdue University. 2018. Factory of the Future shaped by Augmented Reality. URL: https://www.youtube.com/watch?v=RHYQJNf7BEY (Zugriff: 15. September 2020).

Rammert, Werner (2016): Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Ray, Soumitry J.; Teizer, Jochen (2012): Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training. Advanced Engineering Informatics 26: 439–455.

RE'FLEKT. 2014. Re'FLEKT Showreel 2014. URL: https://www.youtube.com/watch?v=ploN816iN0k (Zugriff: 15. September 2020).

Rogge, Tobias; Daub, Urban; Ebrahimi, Amir; Schneider, Urs (2016): Der interdisziplinäre Entwicklungsprozess von aktiv angetriebenen, körpergetragenen Exoskeletten für die oberen Extremitäten am Beispiel des „Stuttgart Exo-Jacket". Zweite transdisziplinäre Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen", 12.12.–13.12.2016, Hamburg, 213–222.

Suchman, Lucy (1998): Human/machine reconsidered. Cognitive. Studies 5 (1): 5–13.

Uhl, Karsten (2014): Humane Rationalisierung? Die Raumordnungen der Fabrik im fordistischen Jahrhundert. Bielefeld: transcript.

Upskill/Boeing. 2018. Upskill and Boeing Use Skylight to Reinvent Wire Harness Assembly. URL: https://www.youtube.com/watch?v=qTblKJjTadQ&feature=youtu.be (Zugriff: 15. September 2020).

Voß, Günther G. (2010): Auf dem Weg zu einer neuen Verelendung? Psychosoziale Folgen der Entgrenzung und Subjektivierung der Arbeit. Vorgänge 49 (3): 15–22.

Weingart, Peter (1989): Technik als sozialer Prozess. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.