

■ WHITEPAPER

Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management

DYNAMISCHE ORGANISATION: SYNERGIEEFFEKTE BEI DER ZUSAMMENARBEIT VON MENSCH, TECHNIK UND ORGANISATION

■ WHITEPAPER

DYNAMISCHE ORGANISATION: SYNERGIEEFFEKTE BEI DER ZUSAMMENARBEIT VON MENSCH, TECHNIK UND ORGANISATION

Das Paper zeigt Ergebnisse aus dem BMBF-Projekt »Innovationslabor – Hybride Dienstleistungen in der Logistik« und stellt eine Zusammenschau aufeinander aufbauender und ineinander verzahnter Arbeiten vor, die die dynamische Organisation beschreibt. Ausgehend von Geschäftsmodellen wird die daraus erfolgende Dynamisierung von Produktionssystemen (CPPS) dargestellt. Innerhalb solcher CPPS werden exemplarisch zwei innovative Ansätze betrachtet, um bestehendes Personal bei der Arbeit adäquat zu unterstützen: Exoskelette und smartes Pausenmanagement. Zusammengebunden werden diese Schlaglichter auf die dynamische Organisation durch einen Ordnungs- und Gestaltungsrahmen zur Organisationsentwicklung.

Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management

Die Schriftenreihe »Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management« greift aktuelle Herausforderungen auf, beleuchtet Trends und fokussiert neuartige Technologien und Geschäftsmodelle.

Die verschiedenen Ausgaben der Schriftenreihe zeichnen das Zukunftsbild einer innovativen Branche, das von Forschung und Praxis gestaltet und gelebt wird.

WHITEPAPER

DYNAMISCHE ORGANISATION: SYNERGIEEFFEKTE BEI DER ZUSAMMENARBEIT VON MENSCH, TECHNIK UND ORGANISATION

Autoren

Haci Bayhan, TU Dortmund, Lehrstuhl
für Förder- und Lagerwesen
Pascal Kaiser, TU Dortmund, Lehrstuhl
für Förder- und Lagerwesen
Semhar Kinne, Fraunhofer IML
Dr. Veronika Kretschmer, Fraunhofer IML
Alexander Kreyenborg, TU Dortmund,
Lehrstuhl für Unternehmenslogistik
Dr. Hendrik Lager, TU Dortmund,
Sozialforschungsstelle
Benedikt Mättig, Fraunhofer IML
Alfredo Virgillito, Ruhr-Universität
Bochum

Internet

Das Whitepaper steht Ihnen auch im
Internet unter [www.innovationslabor-
logistik.de](http://www.innovationslabor-logistik.de) zur Verfügung.

DOI

10.24406/IML-N-643023

Herausgeber

Prof. Dr. Dr. h.c. Michael ten Hompel
Prof. Dr. Michael Henke
Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Materialfluss
und Logistik IML

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2–4
44227 Dortmund

schriftenreihe@iml.fraunhofer.de

Innovationslabor – Hybride Dienstleistungen in der Logistik

Das Innovationslabor – Hybride Dienstleistungen in der Logistik stärkt die digitale Vorreiterrolle des Standorts Dortmund und fördert eine nachhaltige Weiterentwicklung, indem die Zukunftsfragen der Logistik und der Informationslogistik unter dem Aspekt der Mensch-Technik-Interaktion adressiert und deren Forschungsstand am Standort reflektiert werden.

Dazu entwickeln Wissenschaft und Wirtschaft, bestehend aus Logistikern und Soziologen, gemeinsam technologische Innovationen für eine sozial vernetzte Industrie, die Social Networked Industry. Die Ausgestaltung der Innovationen zu hybriden Dienstleistungen wird durch so genannte Showcases in fünf Bereichen gewährleistet: Handel, Produktionslogistik, Transport, Instandhaltung und Virtual Training.

Das Innovationslabor – Hybride Dienstleistungen in der Logistik ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Leuchtturmprojekt. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt ist ein Vorhaben des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund, des Fraunhofer-Instituts für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn sowie der Technischen Universität Dortmund mit der Fakultät Maschinenbau und dem Forschungsgebiet Industrie- und Arbeitsforschung. Darüber hinaus sind zahlreiche Netzwerkpartner in die Forschungsarbeit eingebunden.

INHALT

Einleitung	1
Dynamische Unternehmung: Geschäftsmodelle	3
Definition dynamische Organisation	3
Geschäftsmodelle für Anlagenhersteller	3
Dynamische Produktion – Cyber-Physisches Produktionssystem	6
Produktionsversorgung im CPPS	8
Dynamischer Belastungswechsel: Exoskelett	10
Motivation zum Einsatz von Exoskeletten	10
Stand der Technik	10
Chancen und Risiken	12
Konzepte zur Einbindung in Arbeitsprozesse/CPPS	13
Dynamische Pause	15
Bedarfe eines dynamischen Pausenmanagements in der Logistik	15
Mit moderner Sensortechnik und künstlicher Intelligenz Pausen individuell vorhersagen	16
Chancen und Herausforderungen eines dynamischen Pausenmanagements	17
Dynamische Organisation	20
Unternehmen als sozio-technische Systeme.	20
Vom Sozio-technischen Dreieck zum Würfel: »Komplexitätsstufen«	22
Würfel als Tool zur Beschreibung des Wandels im Unternehmen	23
Ausblick	24
Literaturverzeichnis.	26

Einleitung

Logistik und produzierende Industrie durchleben einen signifikanten Wandel, der als die vierte industrielle Revolution oder als Industrie 4.0 bezeichnet wird. Dieser Wandel wird maßgeblich durch das exponentielle Wachstum neuer Technologien vorangetrieben, die versuchen eine Lösung für die aktuellen Herausforderungen der globalen Wirtschaft und Lieferketten zu finden [1]. Als wesentliche Herausforderungen können dabei immer kürzere Produktlebenszyklen und die Forderungen der Kundinnen und Kunden nach qualitativ hochwertigen und individuellen Produkten mit kurzen Lieferzeiten genannt werden.

Neben dem Fachkräftemangel in der Industrie ist darüber hinaus der allgemeine Arbeitskräftemangel von Lagerarbeiterinnen und Lagerarbeitern sowie Zustellern und Zustellerinnen eines der treibenden Themen der Wirtschaft [2]. So beklagen z. B. 90 Prozent der befragten Logistikunternehmen diesen Zustand und nennen u. a. unattraktive Arbeitsbedingungen als einen der Gründe, warum offene Stellen nicht besetzt werden können. Aufgrund des demographischen Wandels ist durch Wegfall von Personal und damit höherem Leistungsdruck für die übrige Belegschaft eine negative Entwicklung zu erwarten [3]. Obwohl in modernen Logistikzentren und Produktionsbetrieben ein hoher Automatisierungsgrad vorherrscht, werden Kerntätigkeiten wie die Lastenhandhabung (z. B. Fahrzeugbe- und -entladung, Umpalettierung oder Kommissionierung und (Vor-) Montage) weiterhin manuell ausgeführt. Begründet durch den steigenden Onlinehandel und den Bedarf an individualisierten Produkten liegen Versandeinheiten quasi in Losgröße 1 vor [4].

Produzierende Unternehmen und Logistikbetriebe sind angehalten, neue und effizientere Wege zu finden, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Moderne Produktionslinien müssen demnach nicht nur schnell konfigurierbar und flexibel sein, sondern sich selbstständig an neue Rahmenbedingungen anpassen [5]. Gleichzeitig stellen solche anpassungsfähigen und hoch komplexen cyber-physischen Produktionssysteme (CPPS) hohe Anforderungen an das Produktions- bzw. Logistikunternehmen. Entwicklungen wie die Digitalisierung sowie der unaufhaltsame demographische Wandel erschweren die Verfügbarkeit von spezialisiertem Produktions- und Instandhaltungspersonal. Die Folgen sind ein zunehmender Trend zum Outsourcing und der Bedarf an entsprechenden Dienstleistungen und ganzheitlichen Lösungen (z. B. Subskriptionsmodelle).

Die hier gezeigten Ergebnisse aus dem BMBF-Projekt »Innovationslabor – Hybride Dienstleistungen in der Logistik« stellen eine Zusammenschau aufeinander aufbauender

und ineinander verzahnter Arbeiten vor, die sowohl die Entwicklung dienstleistungsorientierter Geschäftsmodelle als auch die Dynamisierung von Produktionssystemen in Form eines CPPS darstellen. Dabei werden exemplarisch zwei innovative Ansätze betrachtet, um bestehendes Personal einerseits in ein anpassungsfähiges Produktionssystem zu integrieren und andererseits bei der Arbeit adäquat zu unterstützen: Ein dynamischer Belastungswechsel durch bedarfsgerechte Hilfsmittel in Form von Exoskeletten sowie ein dynamisches Pausenmanagement unter Anwendung moderner Sensortechnik und künstlicher Intelligenz. Ein alleiniger Technologiefokus ist jedoch kein Allheilmittel. Solche Transformationsprozesse hin zu einer dynamischen Organisation erfordern eine ganzheitliche Betrachtung von Technologie, Organisation und Mensch, um Zusammenhänge zwischen technologischen und personellen Aspekten aufzudecken, was in frühen Innovationsphasen auch die Entscheidungsgrundlage für organisatorische Anpassungen bilden kann. Ein entsprechender Ordnungs- und Gestaltungsrahmen wird in diesem Paper vorgestellt.

Dynamische Unternehmung: Geschäftsmodelle

DEFINITION DYNAMISCHE ORGANISATION

Für einen effizienten Geschäftsbetrieb ist für jedes Industrie- und Logistikunternehmen die Organisation von Ressourcen – seien sie von finanzieller, physischer oder personeller Natur – eine selbstverständliche Grundvoraussetzung. Die zunehmende Schnelligkeit im internationalen Wettbewerb erfordert dementsprechend auch eine anpassungsfähige, dynamische Organisation. Auf der Shopfloor-Ebene beginnt die klassische Hierarchie zwischen Mensch und Technik durch cyber-physische Systeme immer mehr zu verschwimmen. Gleichsam ermöglicht der Einzug von Informations- und Kommunikationssystemen auch unternehmensübergreifende Netzwerke, die zu einer verteilten Wertschöpfung und zu einer gewissen Rückbesinnung auf die eigenen Kernkompetenzen führen. Im Zuge dieser vierten industriellen Revolution entsteht ein interaktives Miteinander, was neben technologischen Änderungen auch die Anpassung klassischer Organisationsstrukturen erforderlich macht.

Im Sinne einer dynamischen Organisation müssen Unternehmen mehr denn je Anpassungs- sowie Reaktionsfähigkeit unter Beweis stellen, um die stetig steigende Komplexität innerer sowie äußerer Bedingungen frühzeitig zu erkennen und zu beherrschen. Dies stellt gleichermaßen kontinuierlich die Entwicklungs- bzw. Innovationsfähigkeit eines Unternehmens auf die Probe. Kurz: Erst wenn eine Organisation dynamisch auf Veränderungen reagieren kann, kann sie sich am Markt behaupten und damit eine wirtschaftliche Stabilität gewährleisten [6].

Vor diesem Hintergrund können sich auch klassische Geschäftsmodelle als zu starr erweisen bzw. als nicht resilient oder dynamisch genug für die wachsende Umfelddynamik und -komplexität sowie für die damit verbundenen Anpassungserfordernisse. Die Digitalisierung bietet hier Potentiale für neue Geschäftsmodelle, welche unter Anwendung von CPPS-Technologien eine stärkere Serviceorientierung ermöglichen und im Folgenden beispielhaft für einen Maschinen- und Anlagenhersteller aufgezeigt werden.

GESCHÄFTSMODELLE FÜR ANLAGENHERSTELLER

Der deutsche Maschinen- und Anlagenbauer generiert im Durchschnitt etwa 20 Prozent des Umsatzes mit industriellen Dienstleistungen [7]. Dabei werden produktbegleitende Dienstleistungen wie die Inbetriebnahme und Instandsetzung oftmals kostenlos zum

Kernprodukt angeboten. Im Fall von hoch komplexen CPPS und damit einem steigenden Digitalisierungsgrad ist eine deutlich höhere Preisakzeptanz der Kundinnen und Kunden für begleitende Dienstleistungen vorhanden. Unternehmen, die im Rahmen innovativer Geschäftsmodelle ihren Dienstleistungsanteil systematisch ausbauen, können folglich ihre Profitabilität erheblich steigern. Obgleich dienstleistungsorientierte Geschäftsmodellinnovationen bedeutend für die Wettbewerbsfähigkeit und das Wachstum am Markt sind, wartet die Mehrheit von Unternehmen weiterhin mit produktorientierten Geschäftsmodellen bis hin zum reinen klassischen Produktverkauf auf und lässt somit das Dienstleistungspotenzial außen vor [8].

Das sich selbst steuernde Produktionssystem, in dem sich Produkte und Werkstücke ihren Produktionsweg ohne externes Eingreifen selbstständig suchen, bietet neue und große Potentiale für innovative Geschäftsmodelle. Die evolutionäre Umrüstung des traditionellen Produktionssystems wird jedoch stufenweise erfolgen. Grundsätzlich können Anlagenhersteller in drei Typen eingruppiert werden: Dem Verkäufer, dem Ansprechpartner sowie dem Lösungsanbieter [9].

Lösungsanbieter	Ergebnis-orientiertes Geschäftsmodell	Subskriptions- und Betreibermodelle, Digitale Services (bspw. Prädiktive Analysen)	Voll digitalisierte Prozesse, Echtzeitfähigkeit, Autonome Entscheidungen	Zentral, Aktivitäten als eigenständige Einheit oder unabhängige Gesellschaft	Autonome und dynamische Organisation des Systems, voll vernetzt
Ansprechpartner	Nutzen-orientiertes Geschäftsmodell	Wartungsverträge, Ersatzteilservices, Beratung, Dokumentation, Remote Services	Prozesse sind IT-gestützt, Remote-Anbindung vorhanden	Gemäßigte Zentralisierung, Aktivitäten gebündelt, aber untergeordnet	Bereitstellung von Echtzeitinformationen, Anbindung an Produktionssystem
Verkäufer	Produkt-orientiertes Geschäftsmodell	Reaktive Instandhaltung, Inbetriebnahme	Vorrangig analoge und papierbasierte Prozesse, kaum IT-Infrastruktur	Dezentral, Aktivitäten organisationsweit verteilt	Manuelle Informations- erfassung, geringe bis keine IT-Anbindung
	Geschäftsmodell	Dienstleistungen	Digitalisierung	Service-Organisation	CPPS

Abbildung 1: Kategorien von serviceorientierten Geschäftsmodellen im Kontext von CPPS (Quelle: Eigene Darstellung)

Diese Typen werden in den Zeilen in Abbildung 1 repräsentiert und sind durch verschiedene Eigenschaften abgrenzbar. Während der Verkäufer sich in der Regel allein auf die Produktion und den Vertrieb seiner Produktionssysteme konzentriert, bietet der Ansprechpartner bereits umfangreichere Dienstleistungen an, um den wahrgenommenen Kundennutzen zu erhöhen. Der Lösungsanbieter erweitert dieses Spektrum und nutzt vor allem seine digitale Kompetenz, um Echtzeit-Lösungen und die Übernahme der Produktionsverantwortung anbieten zu können.

Diese drei Typen stellen somit unterschiedliche Entwicklungsstufen komplexer Geschäftsmodelle dar, was nicht nur Auswirkungen auf das Dienstleistungsportfolio hat, sondern auch in enger Verbindung zur Digitalisierung, der Organisationsstruktur und zum CPPS steht. So kann die Digitalisierung als Enabler der Transformation vom Verkäufer zum Lösungsanbieter verstanden werden. Neben Prozessoptimierungen stellen Informations- und Kommunikationstechnologien sowie intelligente Sensorik die Grundlage für CPPS dar und erlauben zudem die Entwicklung smarter Dienstleistungen, wie beispielsweise Remote Services oder Predictive Analytics. Die steigende Komplexität des Produkts und der Dienstleistungen geht in der Regel auch mit angepassten Organisationsstrukturen einher. Während beim Verkäufer die Dienstleistungen häufig von mehreren unterschiedlichen Fachabteilungen je nach Anfrage bearbeitet werden, wird auf dem Weg zum Lösungsanbieter die Organisation dieser Aktivitäten über zentrale Stellen und konkrete Verantwortungsträger immer wichtiger. Die Arbeit der Beschäftigten unterliegt hierbei zwangsläufig einem Wandel, da die zunehmende Digitalisierung und die Komplexität von Produkt und Dienstleistung auch die Anforderungen an Fähigkeiten und Kompetenzen der Beschäftigten verändern. Beschäftigte in Verkäufer-Unternehmen nehmen häufig mehrere Rollen ein, um beispielsweise neben internen Konstruktionsarbeiten in der Entwicklung auch im Kundenkontakt für ein bestelltes Ersatzteil zu stehen. Ansprechpartner-Unternehmen und vor allem Lösungsanbieter verteilen diese Rollen immer mehr auf einzelne Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und bilden für Dienstleistungen verantwortliche Abteilungen. Im Ergebnis erhöhen sie so zum einen die Effizienz der Dienstleistungserbringung und -entwicklung erheblich. Zum anderen müssen je nach Einsatzbereich Beschäftigte entsprechend speziell ausgebildet und geschult werden.

In Hinblick auf diese vereinfachte Darstellungsform wird deutlich, dass Unternehmen, welche sich vom Status des Verkäufers hin zu einem Ansprechpartner entwickeln möchten, vielfältige Herausforderungen, wie beispielsweise in der Organisation oder der Digitalisierung, zu bewältigen haben. Nicht zuletzt wirken sich diese Aspekte auch maßgeblich auf die Arbeitswelt der Beschäftigten und Kompetenzanforderungen aus. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die erfolgreiche Implementierung neuer Geschäftsmodelle von weiteren Faktoren, wie beispielsweise der Akzeptanz und Kompetenzen der Beschäftigten sowie dem Einsatz weiterer Technologien, abhängt. So erfordern CPPS und zugehörige Services, wie eine Dynamisierung von Pausen, auch die Integration von echtzeitfähigen Technologien und Infrastrukturen. Verschiedene Geschäftsmodellinnovationen gehen somit mit unterschiedlichen Anforderungen an die Dimensionen Mensch, Technik und Organisation sowie deren Zusammenspiel einher.

Dynamische Produktion – Cyber-Physisches Produktionssystem

Um auch in der Produktion dynamisch agieren zu können, wurde im Rahmen des Projekts ein CPPS entwickelt, das den Anforderungen in Bezug auf eine dezentrale Steuerung in der auftragsbezogenen und diskreten Fertigung genügt. Dieses System weist eine hohe Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit auf und kann auf äußere kumulative Veränderungen rapide reagieren. So kann es eine kontrollierte Steuerung der Herstellung individueller Produkte für Kundinnen und Kunden möglich machen.

Zeidler [10] hat in diesem Zusammenhang die neue zukunftsweisende Methode »Autonomous and Decentralized Production Order« zur Produktionssteuerung konzipiert, die auf diesen Grundelementen gestützt ist. In der Versuchshalle des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen (FLW) der TU Dortmund wurde ein solches CPPS erforscht und umgesetzt (siehe Abbildung 2). Im Mittelpunkt stand die Entwicklung einer innerbetrieblichen Produktionsumgebung mit diskreter Fertigung von Baustein-Drohnen. Durch das Bausteinprinzip entstehen 26 verschiedene Varianten, womit das Abbilden einer hohen Variantenvielfalt ermöglicht wird. Diese Fertigung ist durch hohe Freiheitsgrade in Bezug auf Steuerungsentscheidungen gekennzeichnet, die das primäre Ziel verfolgen, die Adaption- und Reaktionsfähigkeit im CPPS zu erhöhen. Starre Wertschöpfungsketten sind in Bezug auf die Logistik kontraproduktiv. Die Basis-Produktionsumgebung muss aus diesen Gründen über eine freie und ungerichtete Verkettung der aufgestellten Arbeitsstationen verfügen, damit ein produktabhängiges, hochdynamisches Routing von Production Orders realisierbar wird.

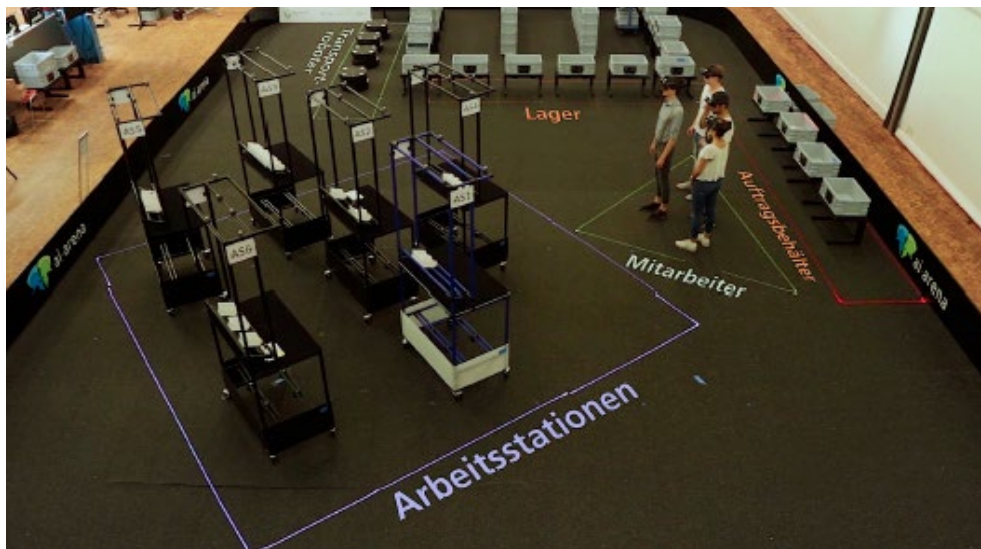


Abbildung 2:
Ausschnitt der realen
Versuchsumgebung
innerhalb
des lehrstuhleigenen
Forschungszentrums
(Quelle: FLW)

Damit die Flexibilität beim Routing erhöht werden kann, ist der Einsatz von jeweils mehreren Arbeitsstationen mit identischen Prozessfähigkeiten in der Basis-Produktionsumgebung notwendig. Auf diese Weise werden bestimmte Freiheitsgrade auf der strukturellen, physischen Ebene der Basis-Produktionsumgebung geschaffen. Durch Adaptionen der Strukturen von Informationen sollten weitere Freiheitsgrade angestrebt werden, sodass Arbeitsvorgänge nicht über einen längeren Zeitraum in traditionellen Arbeitsplänen nacheinander zu reihen sind. Bei der Produktion einer spezifischen Produktvariante sollten die Bedingungen für die Reihenfolgen der Arbeitsvorgänge von einem Vorranggraphen registriert werden. Hinsichtlich der möglichen Arbeitsvorgänge-Reihenfolgen bzw. -Sequenzen sind Entscheidungsalternativen zu unterstreichen, da sie die Summe der möglichen Pfade, auf denen eine Production Order durch ein gegebenes Produktionssystem geleitet werden kann, erhöhen. Essenzielle Informationen für jeden Knoten im CPPS müssen vom Vorranggraphen erfasst werden, z. B. Stücklisteninformationen, das Zeitintervall für die voraussichtliche Abarbeitung eines Arbeitsvorgangs wie auch ein Bewertungsreferenzwert, der die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Routing-Alternativen sicherstellt und im Routing-Prozess einer Production Order durch die Produktionsumgebung wesentlich ist. Eine beispielhafte Darstellung einer Basis-Produktionsumgebung, die ihre charakteristischen Eigenschaften berücksichtigt, ist in Abbildung 3 zu sehen. Darin sind alle Entitäten der Basis-Produktionsumgebung enthalten, und es wird die Struktur der Waben abgebildet, die die freie und ungerichtete Verkettung der Arbeitsstationen darstellt. Innerhalb einzelner Waben wird mit Hilfe der Pfeile illustriert, auf welchen Pfaden eine bestimmte Production Order auf Grundlage des entsprechenden Vorranggraphen durch die Basis Produktionsumgebung gelenkt werden kann.

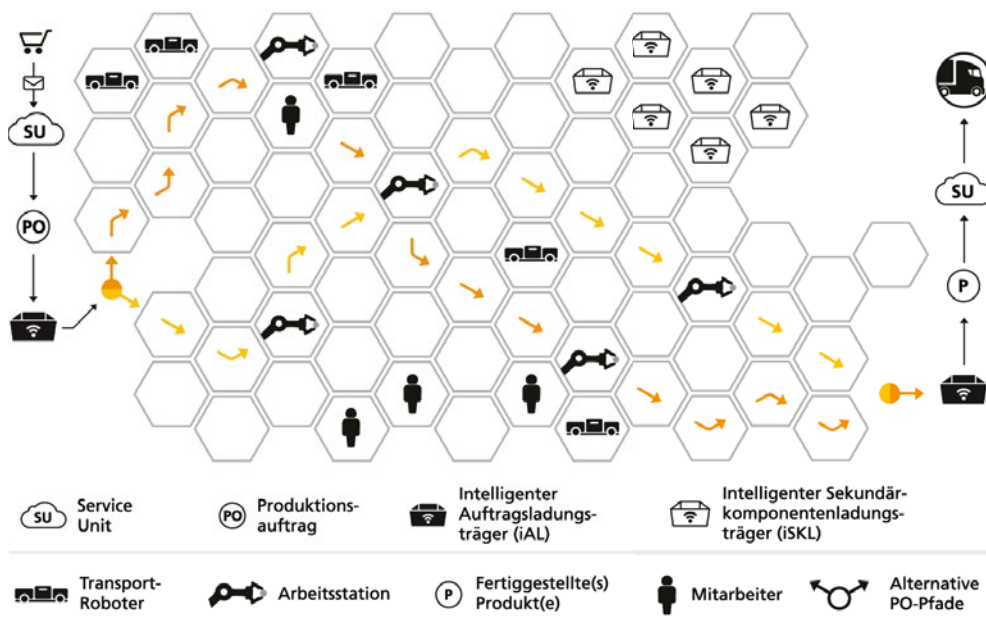


Abbildung 3: Basis-Produktionsumgebung (Quelle: In Anlehnung an Zeidler 2019 [10])

Die entsprechende Arbeitsstation kann mit der Montage erst beginnen, wenn alle notwendigen Sekundärbedarfe zur Verfügung stehen. Die Versorgung von Produktionseinheiten mit erforderlichen Teilen ist folglich im Kontext der innerbetrieblichen Materialbereitstellung äußerst wichtig und wirkt sich maßgeblich auf die Lieferzeit und -treue aus [11]. Die Erfüllung der Aufgaben der Materialbereitstellung, welche durch Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen entschieden sind, werden so durch eine Materialbereitstellungsstrategie garantiert. Das Produktionssystem, die Materialbereitstellung selbst und die Materialien, die bereitzustellen sind, sind Teile dieser Aufgaben. Eine derartige Materialbereitstellungsstrategie bestimmt alle materialbezogenen Richtlinien in Bezug auf den innerbetrieblichen Transport, auf die Kommissionierung, Lagerung bis zum Abgriff an der Arbeitsstation, und wirkt sich auf logistische Ziele für den Produktionsprozess aus [12, 13, 14]. Die Materialbereitstellungsprozesse nehmen aufgrund der höheren Menge bereitzustellender Materialien und der gewachsenen Flexibilität der Produktionssysteme massiv an Komplexität zu.

PRODUKTIONSVERSORGUNG IM CPPS

Auf dieser Basis wurde für die Materialbereitstellung aus den beiden Lagerbereichen des CPPS mit dem RealProS [15, 16] ein eigenständiges Konzept entwickelt und implementiert. Die konkrete Implementierung auf konzeptioneller Ebene wird im Folgenden näher beschrieben.

Sobald eine Arbeitsstation Materialien für einen Auftrag benötigt, stellt sie eine Anfrage an die beiden Lagerbereiche. Aus einem dieser Lagerbereiche werden die Sekundärbedarfe sortenrein in Kleinladungsträgern an die Arbeitsstation geliefert. Eine Mitarbeiterin oder ein Mitarbeiter entnimmt die entsprechende Menge aus dem Kleinladungsträger. Dieser Lagerbereich wird als Pufferlager bezeichnet. Die Materialien aus dem anderen Lagerbereich werden auftragsbezogen kommissioniert und an die Arbeitsstation transportiert. Dieser Lagerbereich wird Zentrallager genannt. Als Erstes überprüfen beide Lagerbereiche, ob die benötigten Materialien in der entsprechenden Menge vorrätig sind. Im Falle, dass ein Lagerbereich nicht alle benötigten Materialien auf Lager hat, bricht er den Prozess ab. Im anderen Fall gibt es für jeden Lagerbereich einen separaten Prozess. Um im Zentrallager eine Kommissionieranfrage zu erzeugen, werden alle verfügbaren Kommissionierstationen angefragt. Diese wiederum stellen bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine Anfrage für einen Kommissionierer. Die optimale Mitarbeiterin oder der optimale Mitarbeiter (z. B. Verfügbarkeit, Qualifikationen, Kosten) wird für den Auftrag ausgewählt. In Abhängigkeit von den Kosten der Mitarbeiterin oder des Mitarbeiters (z. B. nach Qualifizierungsniveau), den Kosten der Kommissionierstation und dem verfügbaren Zeitslot dieser Station wird von ihr ein Angebot berechnet. Die Stationen vergleichen untereinander ihre Angebote und wählen das beste Angebot aus.

Danach fragt die entsprechende Kommissionierstation den Transport des Kommissionierbehälters bei den Transportrobotern an, welche basierend auf Ihrer aktuellen Position den zurückzulegenden Weg ermitteln und daraus ihre Transportkosten berechnen. Darüber hinaus wird auch die Abweichung des Lieferzeitpunkts vom geplanten Startzeitpunkt der Arbeitsstation in Betracht gezogen. Auf der Grundlage von dynamischen Gewichtungsfaktoren wird aus den gesamten Kosten (Transportkosten und Kosten der Kommissionierung) und der zeitlichen Abweichung ein Bewertungsergebnis kalkuliert. Die Transportroboter wählen untereinander den Transportroboter mit dem besten Bewertungsergebnis aus. Somit ist dies das beste Angebot des Zentrallagers und wird daraufhin mit dem Angebot des Pufferlagers verglichen. Im Falls, dass im Pufferlager alle Materialien vorhanden sind, wird überprüft, ob von einem Material mehrere Behälter vorrätig sind. Ist dies der Fall, wird nach dem FiFo-Prinzip der Behälter ausgewählt, der zu verwenden ist. Sobald alle zu liefernden Behälter definiert sind, fragt jeder Behälter seinen Transport zur jeweilig zugeordneten Arbeitsstation bei den Transportrobotern an. Diese prüfen daraufhin, welche Kombination aus Behälter und Transportroboter am günstigsten ist und somit die geringsten Kosten mit sich trägt. An dieser Stelle werden die gesamten Transportkosten sowie die größte Lieferzeitabweichung verwendet, um erneut auf Grundlage der dynamischen Gewichtungsfaktoren ein Bewertungsergebnis zu kalkulieren. Das daraus resultierende Bewertungsergebnis wird daraufhin mit dem Ergebnis aus dem Zentrallager verglichen. Das bessere Angebot wird an die Arbeitsstation geschickt, die die Ergebnisse wie bisher verwendet und ein Angebot für den angefragten Arbeitsvorgang erstellt.

Durch die Dynamisierung von Geschäftsmodellen sowie von Logistik- und Produktionssystemen wird oftmals eine Intensivierung und Verdichtung von Arbeit weiter vorangetrieben. Viele Tätigkeiten in Logistik wie Kommissionierung oder auch in Produktion und Montage weisen dementsprechend ein relativ hohes Maß an Belastungen auf, was sich in Zeit- und Leistungsdruck, körperlicher Arbeit, psychischem Stress und krankheitsbedingten Fehlzeiten niederschlägt. Potentielle Verbesserungen der Ergonomie durch digitale Technologien werden häufig durch Arbeitsverdichtung überkompensiert, sodass Belastungen weiter ansteigen [17]. Gerade unter den Bedingungen des verschärften Arbeits- und Fachkräftemangels und den Herausforderungen des demographischen Wandels (z. B. steigender Anteil Älterer in der Belegschaft) muss eine Unternehmung darauf reagieren. Die folgenden beiden Abschnitte zeigen für diese Problematik Lösungsmöglichkeiten unterschiedlicher und komplementärer Natur auf.

Dynamischer Belastungswechsel: Exoskelett

MOTIVATION ZUM EINSATZ VON EXOSKELETTEN

Auf die menschlichen Fähigkeiten bei körperlich belastender Lastenhandhabung kann aktuell noch nicht verzichtet werden. Insbesondere mobile Arbeitsplätze, die auch im CPPS auftreten, können mit technischen Lösungen nur aufwändig und kostenintensiv ganzheitlich ergonomisch gestaltet werden. Darüber hinaus führt die umständliche Bedienung der angebotenen Assistenzsysteme zu Akzeptanzproblemen. Manuelle Tätigkeiten werden hauptsächlich mit dem Fokus der Zeitersparnis konzipiert, gleichzeitig stehen den Beschäftigten keine oder nur schwer sichtbare Informationen zu den zu handhabenden Objekten zur Verfügung. Unter diesen Voraussetzungen kann in der Praxis weder auf eine gesunde Körperhaltung während der Lastenhandhabung geachtet werden, noch ist eine körperliche Vorbereitung auf das jeweilige Lastgewicht möglich. Die Folge körperlich schwerer Arbeit zeigt sich in Beschwerden und Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems, die insgesamt die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeitstage darstellen. Speziell in Verkehrs- und Logistikberufen sind die Anteile dabei mit am höchsten [18].

Als Reaktion auf den Arbeitskräftemangel und die dynamische Auftragslage mit unterschiedlichen Belastungsspitzen in der Logistik empfiehlt sich der Einsatz von Exoskeletten. So können nicht nur Beschäftigte langfristig gesund arbeiten, sondern auch gleichzeitig Leistungsgewandelte in die Arbeitswelt integriert werden. Die körpergetragenen Assistenzsysteme dienen der Entlastung einzelner Körperregionen mithilfe angetriebener oder rein mechanisch wirkender Stützstrukturen.

STAND DER TECHNIK

Die Idee der Exoskelett-Technologie ist nicht neu: Das erste Patent eines federbasierten Anzugs zum Laufen und Springen stammt aus dem Jahr 1891 [19] und der erste Prototyp wurde von General Electric im Jahr 1965 gezeigt (Abbildung 4). Mit »Hardiman« sollte es möglich sein, Lasten von bis zu 680 kg zu tragen [20]. Die Entwicklung kraftverstärkender Exoskelette wurde vor allem im militärischen Bereich vorangetrieben (z. B. Raytheon XOS 2 [21]). Das neueste Modell kraftverstärkender Ganzkörperanzüge dient jedoch der Lastenhandhabung. Guardian XO von Sarcos ermöglicht eine Lastaufnahme von bis zu 90 kg und soll durch 24 Freiheitsgrade die Bewegungsfreiheit nicht beeinflussen [22].

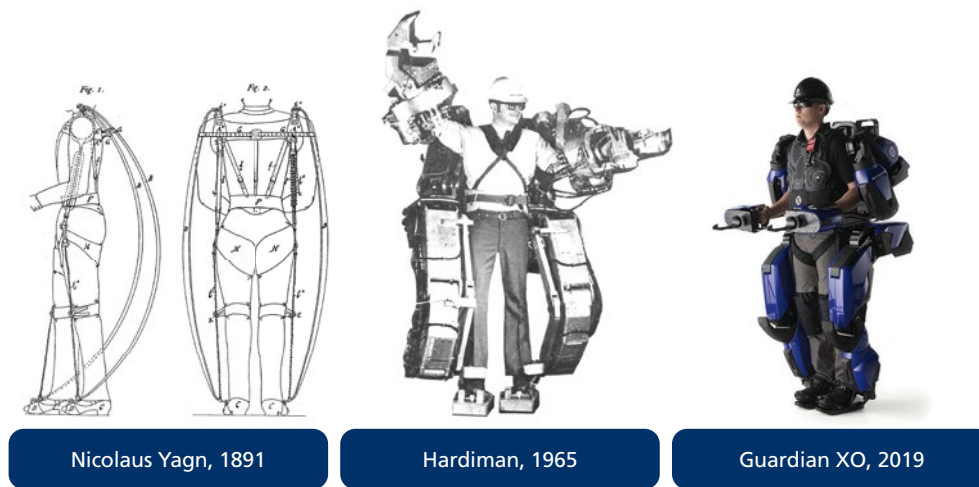


Abbildung 4:
Historische Entwicklung von Ganzkörper-Exoskeletten (Quelle: Fraunhofer IML, eigene Darstellung)

Für die medizinische Rehabilitation werden Exoskelette eingesetzt, um bewegungseingeschränkte Personen zu trainieren oder um sie im Alltag zu unterstützen. Seit einigen Jahren sind auch Exoskelette für den industriellen Kontext auf dem Markt verfügbar und werden bereits von Unternehmen in operativen Prozessen erprobt [23, 24, 25]. Aus Gründen des Arbeitsschutzes steht hier eine Kraftverstärkung mit angestrebter Leistungssteigerung ohne Beachtung neu entstehender Gefährdungen nicht im Fokus [26]. Vielmehr ist es das Ziel, Lastspitzen aufzunehmen, die einen negativen Einfluss auf das Muskel-Skelett-System haben können. Dabei sind existierende Exoskelette jedoch nicht universell einsetzbar, sondern wirken meist nur einer spezifischen Belastung wie dem Arbeiten in Zwangshaltungen (insbesondere Überkopfarbeit [z. B. Paexo Shoulder] und statische Tätigkeiten mit vorgebeugtem Oberkörper [z. B. Laevo] oder in gehockter Haltung [z. B. Chairless Chair]), der Lastenhandhabung (z. B. Kommissionier- und Be-/Entladungsvorgänge [z. B. Cray X]) oder dem Halten schwerer Werkzeuge (z. B. im Handwerk [FORTIS]) entgegen. Die Größe der Unterstützungswirkung unterscheidet sich grundsätzlich zwischen passiven und aktiven Exoskeletten sowie den jeweils eingesetzten Federsystemen bzw. Antrieben. Weitere charakterisierende Merkmale sind beispielsweise die Art des Aufbaus hinsichtlich der Materialeigenschaften und der Morphologie. Eine Übersicht aktuell marktreifer und in Deutschland verfügbarer Exoskelette zeigt Abbildung 5.



Abbildung 5:
Auf dem deutschen
Markt verfügbare
Exoskelette (Stand:
November 2020)
(Quelle: Fraunhofer
IML, eigene
Darstellung)

CHANCEN UND RISIKEN

Mit der Einführung von Exoskeletten in den betrieblichen Alltag körperlich tätiger Beschäftigter werden zwei wesentliche Erwartungen verbunden. Einerseits leisten Exoskelette einen Beitrag zur nachhaltigen Gesundheitsförderung, da sie gesunde Bewegungsabläufe fördern und eine Haltungsverbesserung erzielen können. Die Reduktion physischer Belastungen am Arbeitsplatz sei darüber hinaus mit einer Verringerung muskuloskelettaler Beschwerden verbunden, und Exoskelette bieten auch die Möglichkeit, Leistungsgewandelte weiter zu beschäftigen. Weniger krankheitsbedingte Fehlzeiten resultieren in einer Produktionssteigerung. Darauf zielt auch die Verstetigung der Leistung im Tagesablauf ab, da Beschäftigte durch den Einsatz jener Exoskelette weniger ermüden sollen.

Bei objektiver Betrachtung der Eigenschaften der Technologie zeigen sich jedoch auch Herausforderungen, die berücksichtigt werden sollten. Da es sich um ein körpergetragenes Assistenzsystem handelt, fließen subjektive Faktoren wie Tragekomfort, individuelle Passform und Bewegungsfreiheit unmittelbar in die Akzeptanz der Technologie ein. Für die Usability ist es ebenfalls wichtig, dass Einstellung und Bedienung intuitiv durch den Nutzenden vorgenommen werden können und dass die subjektive Wirksamkeit gegenüber möglichen Beeinträchtigungen durch das System überwiegt. Diese Parallelen zu herkömmlichen Hebehilfen sollten durch eine frühzeitige Integration von

Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in die Entscheidungsprozesse Berücksichtigung finden, damit die Exoskelette im Arbeitsalltag auch tatsächlich von den Beschäftigten verwendet werden. Darüber hinaus ist die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung unabdingbar, um zusätzliche Gefährdungen durch das Exoskelett selbst oder in Notfallsituationen identifizieren und bewerten zu können [27].

Ein Unsicherheitsfaktor liegt in der ungeklärten Frage der gesundheitlichen Langzeitwirkung. Mit Exoskeletten tragen Beschäftigte ein zusätzliches Gewicht am Körper, welches zu einer konstanten Erhöhung der Belastung führt. Es kann aktuell noch nicht ausgeschlossen werden, dass dies eine erhöhte Belastung des Herz-Kreislaufsystems (z. B. durch längeres Arbeiten über Schulter-Niveau) zur Folge hat. Kräfte, die durch die Arbeitsaufgabe entstehen, werden darüber hinaus durch die Systeme nicht kompensiert, sondern vielmehr im Körper umverteilt. Die biomechanischen Auswirkungen können noch nicht adäquat abgebildet werden, weshalb Exoskelette auch in Bewertungsmethoden noch nicht berücksichtigt werden. Die Leitliniengruppe der deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. kommt zu dem Schluss, dass nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand weder eine primär- noch eine sekundär- oder tertiärpräventive Wirkung von Exoskeletten auf Muskel-Skelett-Beschwerden oder sogar Muskel-Skelett-Erkrankungen begründet werden kann [28].

KONZEPTE ZUR EINBINDUNG IN ARBEITSPROZESSE/CPPS

Der Einsatz von Exoskeletten als personenbezogene Maßnahme kommt zum Tragen, wenn trotz technischer und organisatorischer Optimierungen des Arbeitsplatzes die Belastungen durch die Arbeitsaufgabe (insbesondere in Bezug auf Lastgewichte und Wiederholungsanzahl, unzureichende ergonomische Bedingungen sowie falsche Bewegungsmuster bei der Ausführung) nicht adäquat reduziert werden können. Grundsätzlich müssen Unternehmen entscheiden, ob sie jedem Mitarbeitenden ein eigenes Exoskelett zur Verfügung stellen, ob ein Modell innerhalb einer Personengruppe geteilt oder ob es nur an bestimmten Arbeitsplätzen eingesetzt werden soll. Hier sind die Faktoren Anschaffungskosten, Einstellungsaufwand und An- und Ausziehzeiten gegeneinander abzuwägen. Darüber hinaus sind Arbeitsmittel zur physischen Unterstützung oftmals mit Akzeptanzproblemen behaftet, da die zu unterstützende Tätigkeit mit Hilfsmitteln länger dauert oder die Anwendung umständlich und gewöhnungsbedürftig ist. Bei körpergetragenen Hilfsmitteln wie Exoskeletten kommen mögliche Bewegungseinschränkungen oder Schwitzen noch erschwerend hinzu. Um dem entgegenzuwirken, ist ein belastungssituativer Einsatz von Exoskeletten ein denkbarer Ansatz. Die physischen Assistenzsysteme werden dabei nicht dauerhaft verpflichtend, sondern bedarfsgerecht eingesetzt. Je nach dynamischer Fähigkeit der Organisationsstruktur kann der Bedarf auf unterschiedliche Weise ermittelt und die Auswirkungen (z. B. Zeitaufwände

oder Bereitstellprozesse des Exoskeletts) in den Bewertungs- und Gestaltungsprozessen des CPPS berücksichtigt werden. Mögliche Einsatzstrategien sind im Folgenden mit aufsteigender Komplexität der Implementierung aufgeführt:

- Tätigkeitsbezogene Zuweisung eines Exoskeletts: Unabhängig von den individuellen Voraussetzungen der Angestellten wird bei bestimmten Tätigkeiten grundsätzlich der Gebrauch von Exoskeletten empfohlen. Beispiele: Kommissionierung von Objekten eines bestimmten Lastbereichs, Arbeiten in Zwangshaltungen oder ungünstigen Arbeitshöhen
- Arbeitsplatzbezogene Zuweisung eines Exoskeletts: Unabhängig von den individuellen Voraussetzungen der Beschäftigten wird an bestimmten Arbeitsplätzen grundsätzlich der Gebrauch von Exoskeletten empfohlen. Beispiele: Im Warenein- oder -ausgang, an bestimmten Montagearbeitsplätzen
- Personenbezogene Zuweisung eines Exoskeletts: Abhängig von individuellen Voraussetzungen wie dem Alter oder (attestierten) körperlichen Beeinträchtigungen wird bei bestimmten Tätigkeiten oder Arbeitsplätzen die Nutzung eines Exoskeletts empfohlen. Beispiele: Präventive Haltungskontrolle bei jungen Mitarbeitenden, Funktionseinschränkungen im Schulter-/Oberarmbereich
- Situative Zuweisung eines Exoskeletts: Abhängig vom aktuellen Belastungszustand einer Person und der anstehenden Arbeitsaufgabe wird die Nutzung eines Exoskeletts empfohlen. Der Belastungszustand kann dabei über eine vitaldatenbasierte Ermüdungserkennung (siehe Abschnitt Dynamische Pause) oder durch ein Dosismonitoring erfolgen.

Neben der Möglichkeit, Belastungen der Arbeitskräfte dynamisch zu regulieren, wird im nächsten Abschnitt eine Option zur dynamischen Erholung vorgestellt. Diese Dynamische Pause operiert komplementär zum Einsatz von Exoskeletten und ist hervorragend für einen Einsatz in einem CPPS (siehe Abschnitt Dynamische Produktion - Cyber-Physisches Produktionssystem) geeignet.

Dynamische Pause

BEDARFE EINES DYNAMISCHEN PAUSENMANAGEMENTS IN DER LOGISTIK

Die permanenten Wandlungsanforderungen machen sich in der Digitalisierung von Prozessen, der Einführung neuer Technologien oder IT-Systemen sowie in veränderten betrieblichen Informationsstrukturen bemerkbar [29]. Inzwischen wird der Mensch als eine wertvolle Ressource im Unternehmen erkannt, die es in die digitalisierten Logistikprozesse zu integrieren gilt. Vor allem in der Kommissionierung wird die Mehrheit der Prozesse immer noch manuell verrichtet, da so der Flexibilitätsgrad bei der Prozessgestaltung erhöht werden kann [30]. Die Förderung und Erhaltung menschlicher Fähigkeiten und Fertigkeiten, wie Geschwindigkeit, Dynamik, Flexibilität und der Wissens- und Erfahrungsschatz, gelten dabei als wirtschaftlicher Erfolgsfaktor.

Ein Blick auf die Logistik zeigt, dass im Bereich der Lagerwirtschaft weiterhin starre Arbeitszeitmodelle dominieren, die weder den Eigenschaften und Potenzialen der Mitarbeitenden noch den Anforderungen der Logistik angepasst sind. Daneben fallen in der operativen Lagerlogistik Arbeitspausen häufig aus, werden unterbrochen oder zu spät in Anspruch genommen, was häufig mit den betriebsinternen Strukturen zusammenhängt. Häufiger Pausenausfall kann mit dem vermehrten Auftreten von Rückenschmerzen, Müdigkeit, Erschöpfung, Schlafstörungen oder anderen psychovegetativen Beschwerden einhergehen [31]. Hinzukommend steigen die Intensivierung und Verdichtung der Lagerarbeit: Multitasking, Überstunden und eine ständige Erreichbarkeit bei einem zugleich hohen Zeit- und Leistungsdruck sind an der Tagesordnung [29]. Die Folgen können weitreichend sein. Neben einer Beeinträchtigung der Zufriedenheit, Gesundheit und Produktivität der Mitarbeitenden steigt das Risiko von Erkrankungen, Unfällen, Fehlzeiten oder der Fluktuation von Mitarbeitenden.

Vor diesem Hintergrund ist die Idee entstanden, die Stellgröße »Arbeitspause« dynamisch zu gestalten, um den verschiedenen Flexibilitätsanforderungen im intralogistischen Bereich gerecht zu werden. Ziel ist es, Pausen auf die individuellen Belange der Mitarbeitenden auszurichten. Arbeitspausen sind als beabsichtigte Arbeitsunterbrechungen definiert, die der Erholung während der täglichen Arbeitszeit, dem Tätigkeitsausgleich, der Motivierung, der sozialen Interaktion und der Wahrnehmung kultureller und individueller Bedürfnisse dienen [32]. Zahlreiche arbeitswissenschaftliche Untersuchungen haben bereits belegt, dass sich Arbeitspausen nicht nur positiv auf das körperliche und psychische Wohlbefinden der Mitarbeitenden auswirken, sondern auch positive Effekte auf die Arbeitsleistung und -sicherheit im Unternehmen haben [33]. Die Wirkung von Pausen ist in Abbildung 6 dargestellt.

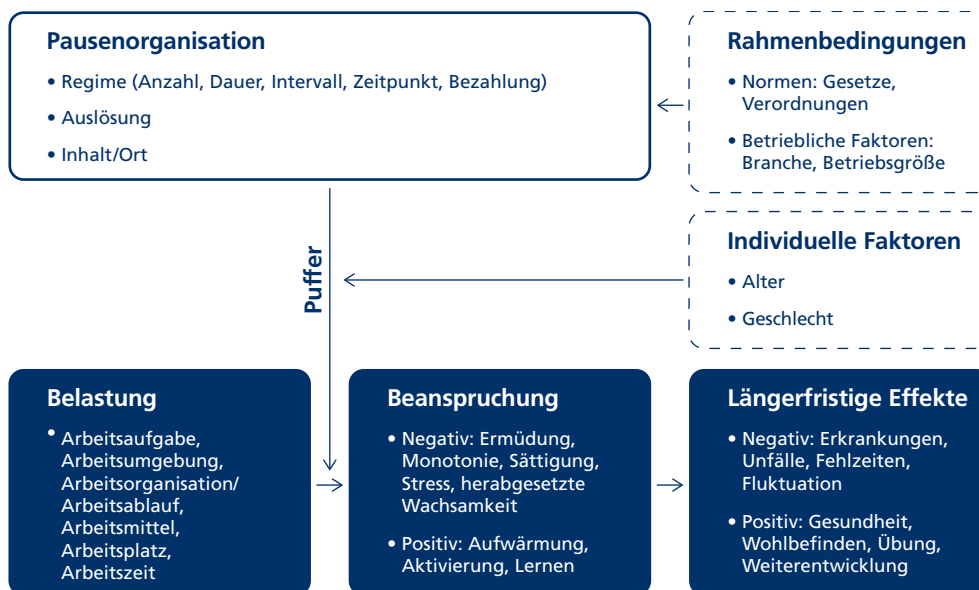


Abbildung 6:
Übersicht zur
Wirkung von Pausen
(Quelle: Wendsche &
Lohmann-Haislah 2016
[32])

MIT MODERNER SENSORTECHNIK UND KÜNSTLICHER INTELLIGENZ PAUSEN INDIVIDUELL VORHERSAGEN

Das Ziel der »Dynamischen Pause« besteht darin, individuelle Stressspitzen der Mitarbeitenden präventiv zu vermeiden, indem Pausen rechtzeitig empfohlen werden. Zur Messung von Stress werden Vitaldaten, genauer gesagt Maßzahlen, die die Grundfunktionen des menschlichen Körpers widerspiegeln, erfasst, und weitere Körperparameter daraus abgeleitet. Mit handelsüblichen Sensorarmbändern lassen sich u. a. die Herzfrequenz, Hauttemperatur, Bewegungen und die Hautleitfähigkeit von Mitarbeitenden während der Ausübung ihrer Arbeitstätigkeit erfassen.

Die Vitaldaten werden mit Methoden der künstlichen Intelligenz analysiert, sodass typische Stressmuster in den Daten erkannt und Stressmaxima vorhergesagt werden können. Für die individuelle und persönliche Pausenempfehlung erhalten die Mitarbeitenden zudem ein Smartphone mit einer darauf installierten App-Anwendung. Die Mitarbeiterin oder der Mitarbeiter behält weiterhin ihre oder seine Entscheidungsbefugnis, die Arbeitstätigkeit bei Bedarf zu pausieren, d. h. es ist ihr oder ihm freigestellt, die empfohlenen Pausen wahrzunehmen. Über die App-Anwendung werden nicht nur Pausen basierend auf den Vitaldaten vorgeschlagen, die Mitarbeitenden können diese auch selbst im System anmelden. Die App der Mitarbeitenden ist hierbei mit einem dynamischen Organisationssystem innerhalb des CPPS verbunden, das Verfügbarkeiten, Arbeitsaufgaben und die benötigten Ressourcen dynamisch verwaltet. Basierend auf aktuellen und prognostizierten Bedarfen lassen sich angemeldete Pausen der Belegschaft einplanen und bei Bedarf auch verschieben.

CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN EINES DYNAMISCHEN PAUSENMANAGEMENTS

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Pausenorganisation im Unternehmen einerseits auf die individuellen Belange der Mitarbeitenden anzupassen und andererseits den variantenreichen Flexibilitätsanforderungen aus der Logistik gerecht zu werden. Den Unternehmen wird nicht nur eine intelligente Steuerung der Belegschaft ermöglicht, sondern ebenfalls eine Grundlage für eine optimierte Auftragssteuerung geschaffen. Auf der Seite der Mitarbeitenden besteht das Potenzial der Dynamischen Pause darin, die Belegschaft langfristig gesund, zufrieden, arbeitsfähig und produktiv zu erhalten.

Bei zwei Unternehmen wurde mittels explorativer Experteninterviews die Motivation abgefragt, eine Dynamische Pause in die bestehende Arbeitsorganisation im Bereich der Kommissionierung zu integrieren. Mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse wurden die Interviewergebnisse bezogen auf Bedarfe bzw. Motivation, antizipierte Potenziale und Herausforderungen der Dynamischen Pause, sowie die Realisierbarkeit im Hinblick auf unternehmensinterne Voraussetzungen ausgewertet und zusammengefasst. Abbildung 7 veranschaulicht die Grundsätze der Dynamischen Pause, basierend auf den Interviewergebnissen.

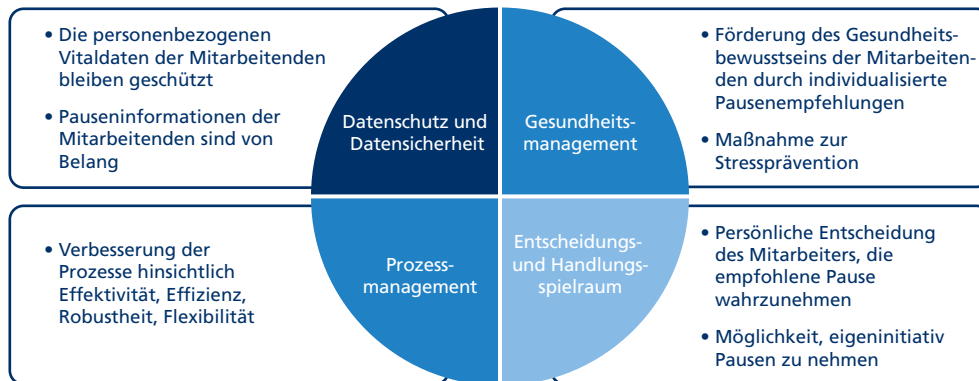


Abbildung 7: Grundsätze der »Dynamischen Pause« (Quelle: Fraunhofer IML: Eigene Darstellung)

Motivation und Potenziale

Die Interviews liefern Erkenntnisse darüber, dass die traditionellen Arbeitszeit- bzw. Pausenmodelle den flexiblen Anforderungen in der Intralogistik nicht ausreichend gut genügen. Die größten Herausforderungen auf Unternehmensseite bestehen aktuell in einem Stillstand der laufenden Kommissionier- oder Verpackungsprozesse bei einem gleichzeitig hohen Arbeitsaufkommen für die Belegschaft sowie vielfältigen Arbeitsbelastungsfaktoren. Hauptsächlich sind beide befragten Unternehmen daran interessiert,

dass in Folge eines dynamischen Pausenmanagements die Gesundheit und Zufriedenheit der Mitarbeitenden langfristig erhalten bleibt, indem die individuellen Leistungs- und Belastungsgrenzen der Beschäftigten berücksichtigt werden. Ein großes Ziel ist dabei die Reduktion des Krankenstands der Belegschaft. Einhergehend mit der Unterstützung der Belange der Mitarbeitenden wird sich zudem eine höhere Effizienz bei der Ausübung der Arbeitstätigkeiten versprochen. Mit einer individualisierten Pausenempfehlung basierend auf Vitaldaten wird sich erhofft, dass die Erholungsfunktion der Pausen erhöht wird und die Mitarbeitenden somit nicht nur ihr eigenes Gesundheitsbewusstsein verbessern, sondern langfristig ihre Leistungsfähigkeit und Produktivität steigern oder auf einem konstanten Niveau halten.

Herausforderungen

Grundsätzlich lassen sich zwei Herausforderungen im Kontext der Einführung eines dynamischen Pausensystems identifizieren. Auf der einen Seite sollte der Datenschutz beim Umgang mit den sensiblen Vitaldaten der Mitarbeitenden eingehalten werden, und auf der anderen Seite sollte die daraus resultierende Dynamik des Pausenmanagements berücksichtigt und in bestehende Prozessabläufe eingeplant werden. Der Schutz der sensiblen Vitaldaten, die täglich von den Mitarbeitenden erfasst und verarbeitet werden, kann als entscheidendes Akzeptanzkriterium der dynamischen Pause gesehen werden. Um die Akzeptanz der Beschäftigten zu fördern, ist die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben zum Datenschutz und der Datensicherheit erforderlich. Darüber hinaus kann die Akzeptanz der Belegschaft u. a. durch eine transparente Kommunikation des Ziels der dynamischen Pausenempfehlungen und die Möglichkeit der freiwilligen Teilnahme bei der Einführung eines dynamischen Pausensystems geschaffen werden. Weiterhin sollte beim Umgang mit den Vitaldaten darauf geachtet werden, dass diese anonymisiert und in einem geschlossenen System verarbeitet werden. Daneben sollten der Handlungsspielraum der Beschäftigten sowie die soziale Funktion einer Pause nicht eingeschränkt werden: Pausen sollten neben der Vitaldaten-basierten Pausenempfehlung immer noch eigeninitiativ genommen werden und es sollte weiterhin die Möglichkeit bestehen, Pausen gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen zu verbringen. Ebenso ist die Akzeptanz für das Thema seitens der Führungskräfte in der Kommissionierung ausschlaggebend. Indem Transparenz über die Verfügbarkeiten der Mitarbeitenden geschaffen wird, kann im Echtzeitbetrieb sichergestellt werden, dass trotz dynamischer Pausenempfehlungen die Einsatzplanung und Koordination der Mitarbeitenden reibungslos verläuft. Auf der Prozessseite ist laut Meinung der befragten Unternehmen nur dann mit Herausforderungen zu rechnen, wenn die Mitarbeitenden bisher über keinen oder nur einen kleinen Entscheidungsspielraum verfügten, ihre Pausen eigenverantwortlich zu organisieren. Zu beachten ist weiterhin, dass die Berücksichtigung dynamischer Verfügbarkeiten von Mitarbeitenden in einem hohen Maße von den vorhandenen

Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Aufgabenbereichen eines Prozesses bestimmt werden. Eine grundsätzliche Maßgabe bei der Wahrnehmung einer Pause besteht darin, dass laufende Aufträge bzw. Bearbeitungen nicht unterbrochen werden dürfen, da ansonsten Wartezeiten oder Störungen des Prozesses entstehen würden. Um die Einbettung der dynamischen Pause in komplexe Prozesse zu ermöglichen, erfolgt die Überführung des Konzepts in das im Projekt entwickelte CPPS.

Dynamische Organisation

Wie schon im letzten Abschnitt angedeutet wurde, sind die Einführung solcher Systeme und Veränderungen in der Arbeitsorganisation keine Selbstläufer, sondern bedürfen einer sorgfältigen strategischen Planung. Das folgende Kapitel entwickelt aus dem Mensch-Technik-Organisation-Ansatz eine einfache Matrix zur Veranschaulichung der notwendigen Änderungen im Unternehmen sowie einiger Handreichungen und Tipps, welche Fallstricke zu vermeiden sind.

UNTERNEHMEN ALS SOZIO-TECHNISCHE SYSTEME

Unternehmen als sozio-technische Systeme zu beschreiben, bedeutet im Grunde, sie als Ansammlung wechselseitig abhängiger Teilsysteme zu verstehen. Diese Teilsysteme kann man mit Hilfe des Mensch-Technik-Organisation-Ansatzes charakterisieren. Augenscheinlich werden im Technik-Teilsystem die technischen Gerätschaften zusammengefasst. Im Rahmen dieses Papers also z. B. ein CPPS, ein Exoskelett oder ein Sensorarmband. Unter dem Teilsystem Organisation verstehen wir vor allem betriebliche Strukturen wie z. B. Geschäftsmodelle. Das Teilsystem Mensch schließlich beschreibt Qualifikationsanforderungen oder Beschäftigungsstrukturen. Das Gesamtsystem wiederum ist in institutionelle und strategische Rahmenvorgaben sowie sozio-ökonomische Kontextbedingungen eingebettet.

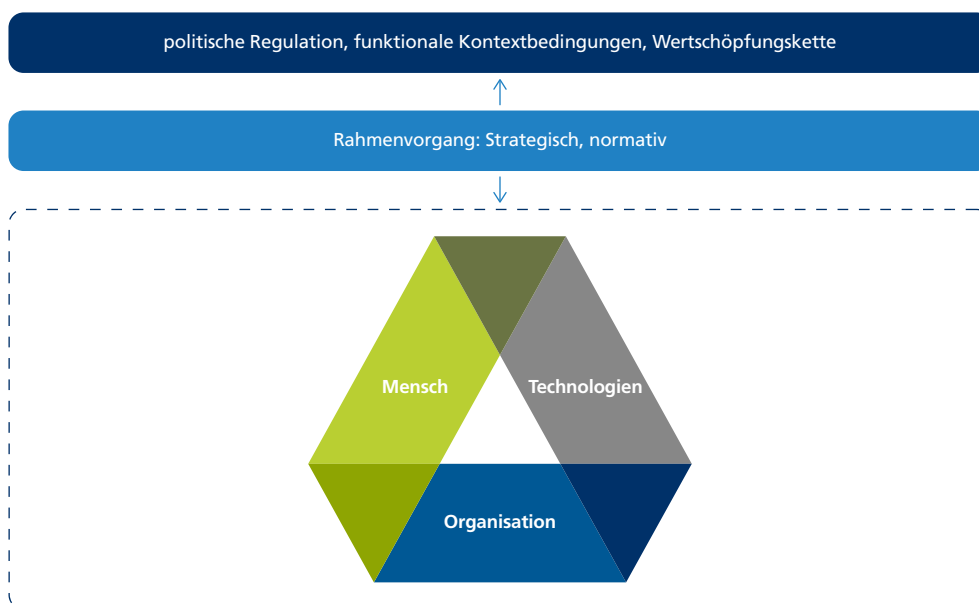


Abbildung 8:
Unternehmen als
sozio-technische
Systeme (Quelle:
Ittermann et al.
2016: S. 27 [34])

Wie man der Abbildung 8 entnehmen kann, ist die Grundidee bei der System-Betrachtung des Unternehmens, dass diese Subsysteme nicht unabhängig voneinander sind, sondern sich gegenseitig beeinflussen. Bei Ittermann et al. werden die (Haupt-)Gestaltungsräume an den Schnittstellen der Subsysteme verortet und es werden jeweils Schnittstellen zweier Subsysteme betrachtet [34]. Wir wollen hier darauf aufbauen, ein Stück darüber hinaus gehen und die Interdependenzen aller drei Subsysteme betrachten.

Ziel dieser Betrachtungsweise ist vor allem, Probleme, die mit einer starken Fokussierung auf einzelne Teilsysteme (häufig Technik, z. B. Akzeptanzprobleme, Over-Engineering) auftreten, deutlich zu machen und bestenfalls zu reduzieren. Dies ist insbesondere bei Veränderungen in einzelnen Subsystemen wichtig: Die Einführung beispielsweise einer neuen Technologie (CPPS oder Exoskelett) hat Auswirkungen auf andere Subsysteme und kann dort – wie jede Veränderung – zu Problemen von Akzeptanz (typisches Mensch-Technik-Problem) oder anderen notwendigen Anpassungen führen.

Vom Sozio-technischen Dreieck zum Würfel: »Komplexitätsstufen«

Die in diesem Paper skizzierten Anpassungen an eine zunehmend dynamischer werdende Wirtschaft zeigen die Möglichkeit von verschiedenen komplexen Lösungen: Geschäftsmodelle (Subsystem Organisation) im produzierenden Gewerbe können als »Verkäufer«, »Ansprechpartner« oder »Lösungsanbieter« verschiedentlich umfangreich und komplex sein. Ebenso können im Subsystem Mensch Unternehmen über ihre Qualifikationsstruktur beschrieben werden. Von überwiegend Einfacharbeit wie in der Logistik, über die in der Produktion üblichen Facharbeiterorganisation bis zur Expertenorganisation (z. B. Softwarebereich) sind verschiedenste Abstufungen möglich. Wenn man nun diese drei Subsysteme als unterschiedlich dimensioniert beschreiben möchte, kommt man zu einem dreidimensionalen Objekt – einem Würfel (Abbildung 9).

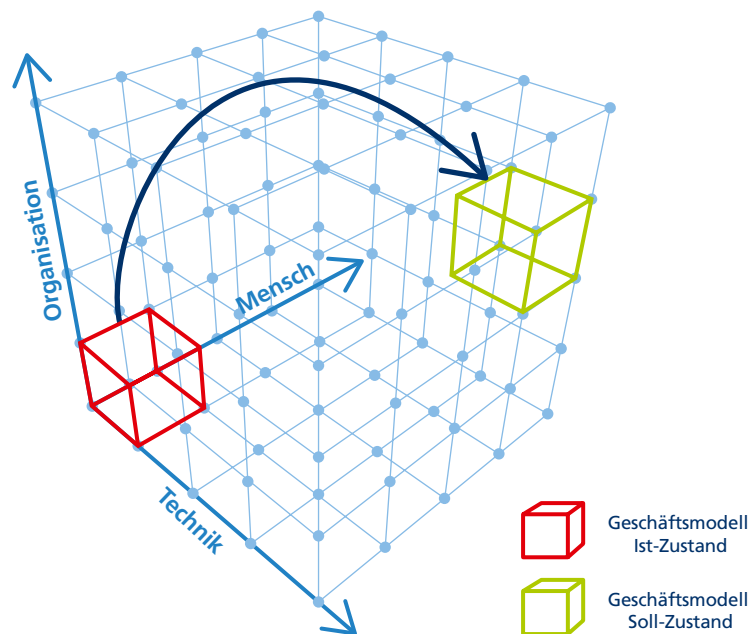


Abbildung 9:
Sozio-technischer
Würfel (Quelle:
Eigene Darstellung)

Diese verschiedenen Komplexitäts-, Ausprägungs- und Ausbaustufen der Subsysteme Mensch, Technik und Organisation gilt es sich im Falle eines Veränderungsbedarfs des Leistungsportfolios im Unternehmen vor Augen zu führen. Die damit verbundenen Herausforderungen und Entscheidungskonsequenzen im sozio-technischen System profitieren von einer integrierten Betrachtungsweise dieser unterschiedlichen Stufen und potentiellen Ausprägungen der Subsysteme bei Geschäftsmodellveränderungen oder der Entwicklung hin zum CPPS.

WÜRFEL ALS TOOL ZUR BESCHREIBUNG DES WANDELS IM UNTERNEHMEN

Durch diese Betrachtungsweise können Ist- (roter Würfel) und Soll-Zustände (grüner Würfel) des Unternehmens abgebildet und statt sowie Veränderungsaufwände von technologischen, organisatorischen und personellen Aspekten sowie ihrer Schnittstellengestaltung analysiert werden. Dabei entsprechen die drei Achsen jeweils einem Subsystem Mensch, Technik oder Organisation. Im Sinne von Komplexitätsstufen stehen die einzelnen Koordinaten im Würfel für spezifische Anpassungserfordernisse und Ausbaustufen in den einzelnen Subsystemen im Kontext von Veränderungsbemühungen.

Auf Basis des Würfels lassen sich dann Entscheidungen und Konsequenzen bei Geschäftsmodellinnovationen (oder allgemeiner: bei Veränderungen im Unternehmen) und damit verbunden Veränderungen im MTO-System veranschaulichen und Handlungshinweise ableiten sowie Bedarfe aufzeigen. In der hier vorgestellten allgemeinen Form dient der Würfel in erster Linie als Hinweis auf die verschiedenen Schritte, die bei einer Veränderung im Unternehmen gegangen werden und welche Zielgrößen erreicht werden sollten, um den größtmöglichen Erfolg zu versprechen.

Nach der Feststellung des Ist-Zustands (Welche technische Ausstattung liegt vor? Wie ist die Qualifikationsstruktur im Unternehmen? Welche Geschäftsmodelle werden aktuell verfolgt?) stehen die Fragen nach der Zielerreichung im Vordergrund:

- Ist die vorhandene technische Ausstattung ausreichend? (z. B. höhere Dienstleistungsorientierung bei den Geschäftsmodellen)
- Sind die erforderlichen Qualifikationen vorhanden? (z. B. CPPS-Einführung)
- Wie sehen die Rahmenbedingungen aus? (z. B. Datenschutz und Sensorarmbänder)
- Wie sieht die Akzeptanz in der Belegschaft aus? (z. B. Exoskelette)
- Welche Geschäftsmodelle werden durch eine dynamische Pausenregelung ermöglicht?

Ausblick

Die Dynamisierung von Produktions- und Logistiksystemen, die damit verbundene Einführung digitaler Technologien wie CPPS sowie digitale Geschäftsmodellinnovationen halten sukzessive Einzug in die betriebliche Praxis, um die Dynamik und Komplexität von Markt- und Umfeldbedingungen zu bewältigen. Die damit verbundenen Anpassungserfordernisse des sozio-technischen Gesamtsystems aus Mensch, Technik und Organisation stellen Unternehmen vor komplexe und schwierige Herausforderungen und Entscheidungen. Die Ausführungen in diesem Beitrag sowie der vorgestellte Ordnungs- und Gestaltungsrahmen unterstützen Unternehmen auf dem Weg zu einer dynamischen Organisation, erfordern jedoch eine Anpassung für unternehmensspezifische Situationen und Anforderungen.

Dabei ist es wichtig, sich über potentielle positive und negative Konsequenzen für das Gesamtsystem aus Mensch, Technik und Organisation sowie deren Schnittstellen Gedanken zu machen, um spätere zusätzliche Kosten, Mehraufwände und Konflikte zu reduzieren und ggf. alternative Entscheidungen in Betracht zu ziehen. Vor diesem Hintergrund können die mit einem »zu Viel an Wandel« verbundene Komplexität und Unwägbarkeit dadurch reduziert werden, indem das Ausmaß an Disruption begrenzt wird, also eher kleine Schritte und Änderungen vorgenommen und in Pilotbereichen erprobt und optimiert werden.

Als erfolgskritische Faktoren für die Transformationsprozesse gelten insbesondere Akzeptanz und Partizipation, um Beharrungstendenzen abzuschwächen [35]. Dabei geht es um weit mehr als nur das bloße Informieren und Kommunizieren von bevorstehenden Veränderungen. Vielmehr sollen den Betroffenen bzw. Beschäftigten systematisch aktive Mitsprache- und Mitgestaltungsmöglichkeiten eingeräumt werden.

Entlang des Transformations- und Gestaltungsprozesses hin zu einer dynamischen Organisation, neuen Geschäftsmodellen und digitalen Technologien bzw. Hilfsmitteln zur Dynamisierung von Produktion und Logistik (z. B. CPPS), von Belastungswechseln (z. B. Exoskelett) oder des Pausenmanagements stellen sich u. a. die folgenden zentralen Fragen:

- Welche Konsequenzen ergeben sich bei der Einführung von Technologien oder Veränderung von Geschäftsmodellen für andere Bereiche im Unternehmen (Subsysteme Mensch, Technik und Organisation) sowie deren Zusammenspiel?
- Sind im Unternehmen die notwendigen Qualifikationen für den Veränderungsprozess vorhanden?

- Wie stark werden die Beschäftigten eingebunden?

Darüber hinaus lassen sich die folgenden grundsätzlichen Hinweise für Einführungs- und Veränderungsprozesse formulieren:

- Akzeptanz der Beschäftigten wird in der Regel durch eine Beteiligung an den Veränderungsprozessen erhöht.
- Dadurch wird auch der Wissenstransfer im Unternehmen gefördert und die Gefahr von Fehlinvestitionen verringert.
- Es hat sich gezeigt, dass Veränderungen, die andere Subsysteme möglichst wenig tangieren, einfacher zu stemmen sind.
- Es empfiehlt sich in der Regel mit auf einzelne Bereiche limitierten Einführungen zu beginnen. Lerneffekte können genutzt und Überforderung verhindert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt am Main.
- [2] Schroven, A. (2015): Demographischer Wandel – Herausforderung für die Logistik. In: P. Voß (Hrsg.): Logistik – eine Industrie, die (sich) bewegt. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 19-29.
- [3] Bundesvereinigung Logistik (BVL) (2017): Fachkräftemangel in der Logistik – BVL Umfrage von 2017. Management Summary und Auswertung nach Branchen und Regionen. URL: <https://www.bvl.de/dossiers/arbeitgeber-logistik/umfrage-fachkraeftemangel-2017> – Abgerufen am 29.04.2021.
- [4] Zeidler, F.; ten Hompel, M.; Emmerich, J. S. (2018): Materialbereitstellung On-Demand – Entwicklung eines bedarfsorientierten Materialbereitstellungskonzeptes für den Einsatz im bestandsmaschinenbasierten Produktionsumfeld. In: Proff, H.; Fojcik, T.M. (Hrsg.): Mobilität und digitale Transformation – Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 487-501.
- [5] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Stuttgart. URL: <https://www2.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf> – Abgerufen am 17.05.2021
- [6] Siegler, O. (1999): Die dynamische Organisation. Grundlagen – Gestalt – Grenzen. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag GmbH.
- [7] Illner, B.; von Steynitz, G. (Hrsg.) (2017): Leitfaden Fit for Service (VDMA). Position bestimmen, Potenziale identifizieren, Serviceerfolg steigern.
- [8] Lerch, C.; Maloca, S. (2020): Digitale Geschäftsmodelle – Modethema oder Wettbewerbsfaktor? Wie Produkthersteller die digitalen Wertschöpfungsmöglichkeiten nutzen können. In: Mitteilungen aus der ISI-Erhebung. MODERNISIERUNG DER PRODUKTION Nr. 75/2020. Hrsg.: Fraunhofer ISI. Karlsruhe.
- [9] Kohtamäki, M.; Parida, V.; Oghazi, P.; Gebauer, H.; Baines, T. (2019): Digital servitization business models in ecosystems: A theory of the firm. In: Journal of Business Research 104, S. 380-392.
- [10] Zeidler, F. (2019): Beitrag zur Selbststeuerung cyberphysischer Produktionssysteme in der auftragsbezogenen Fertigung. Dortmund: Verlag Praxiswissen.
- [11] Förster, M. (2003): Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus. Dissertation. Technische Universität München, Lehrstuhl für Produktentwicklung.

- [12] Golz, J. (2014): Materialbereitstellung bei Variantenfließlinien in der Automobilendmontage. Produktion und Logistik. Wiesbaden: Springer Gabler.
- [13] Vojdani, N.; Knop, M. (2014): Adaptive Materialbereitstellung in flexiblen Produktionssystemen auf Grundlage einer agentenbasierten Transportsteuerung. In: Logistics Journal: Proceedings 2014.
- [14] Vojdani, N.; Knop, M. (2016): Leistungsorientierte Bewertung und Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien mittels Fuzzy Axiomatic Design. In: Logistics Journal: Proceedings 2016.
- [15] Bayhan, H.; Meißner, M.; Kaiser, P.; Meyer, M.; ten Hompel, M. (2020): Presentation of a novel real-time production supply concept with cyber-physical systems and efficiency validation by process status indicators. In: International Journal of Advanced Manufacturing Technology 108, S. 527-537.
- [16] Bayhan, H.; Schulze Forsthövel, R.; Kaiser, P.; ten Hompel, M. (2020): Blockchainbasierte cyberphysische Produktionssysteme. In: Logistics Journal: Proceedings 2020.
- [17] Lager, H.; Virgillito, A.; Buchberger, T. (2021): Digitalization of Logistics Work: Ergonomic Improvements Versus Work Intensification. In: Klumpp, M.; Ruiner, C. (Hrsg.): Digital Supply Chains and the Human Factor. Lecture Notes in Logistics (S. 33-53). Cham: Springer Nature Switzerland AG.
- [18] Knieps, F.; Pfaff, H. (Hrsg.) (2019): Psychische Gesundheit und Arbeit. Zahlen, Daten, Fakten. BKK Gesundheitsreport 2019. Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin.
- [19] US420179A. Yagn, N. Apparatus For Facilitating Walking, Running and Jumping, United States Patent and Trademark Office. Anmeldetag: 28.01.1890.
- [20] General Electric Company (1971): Research and Development Prototype for Machine Augmentation of Human Strength and Endurance. Hardiman I Project Report. URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/724797.pdf> – Abgerufen am 29.04.2021.
- [21] Karlin, S. (2011): Raytheon Sarcos's Exoskeleton Nears Production – The real-life Iron Man suit is lighter, stronger, and more efficient. IEEE Spectrum, 2011. URL: <https://spectrum.ieee.org/at-work/innovation/raytheon-sarcos-exoskeleton-nears-production> – Abgerufen am 29.04.2021.
- [22] Sarcos Corp: Guardian XO. URL: <https://www.sarcos.com/products/guardian-xo-powered-exoskeleton/> – Abgerufen am 29.04.2021.
- [23] Hensel, R.; Keil, M.; Mücke, B.; Weiler, S. (2018): Chancen und Risiken für den Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. In: ASU – Zeitschrift für medizinische Prävention 10, S. 654-661.

- [24] Bednorz, N.; Kinne, S.; Kretschmer, V. (2019): Ergonomieunterstützung in der Logistik. Industrieller Einsatz von Exoskeletten an Palettier- und Kommissionierarbeitsplätzen. Beitrag beim 65. Führungskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V zum Thema Arbeit interdisziplinär analysieren, bewerten, gestalten. Dresden: DGUV Congress, 27. Februar – 01. März 2019.
- [25] Kinne, S.; Kretschmer, V.; Bednorz, N. (2019): Palletising Support in Intralogistics: The Effect of a Passive Exoskeleton on Workload and Task Difficulty Considering Handling and Comfort. In: Human Systems Engineering and Design II: Proceedings of the 2nd International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2019): Future Trends and Applications. München: Universität der Bundeswehr München. 16. – 18. September 2019. Cham: Springer Nature Switzerland AG, S. 273-279.
- [26] DGUV (2019): Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen. FBHL-006, 2019. URL: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/fachbereich-aktuell/handel-und-logistik/3579/fbhl-006-einsatz-von-exoskeletten-an-gewerblichen-arbeitsplaetzen> – Abgerufen am 29.04.2021.
- [27] IFA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung: Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette, Version 1.1 – Entwurf. URL: <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-ergonomie/exoskelette/index.jsp> – Abgerufen am 29.04.2021.
- [28] Steinhilber, B.; Luger, T.; Schwenkreis, P.; Middeldorf, S.; Bork, H.; Mann, B.; von Glinski, A.; Schildhauer, T.A.; Weiler, S.; Schmauder, M.; Heinrich, K.; Winter, G. Schnalke, G.; Frener, P.; Schick, R.; Wischniewski, S.; Jäger, M. (2020): Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen Beschwerden. 1. Auflage, Version 1 vom 31.05.2020; Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.: URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-046I_S2k_Exoskelette_2020-07.pdf – Abgerufen am 29.04.2021.
- [29] Kretschmer, V. (2020): Die Rolle des Menschen in der digitalen Arbeitswelt: Erkenntnisse industrienaher Forschungsprojekte am Beispiel der Logistik. In: Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA) 2020: Stellenwert menschlicher Arbeit im Zeitalter der digitalen Transformation, 17.-18. September 2020, Wien. Dortmund: GfA-Press.
- [30] Grosse, E.H.; Glock, C.H.; Neumann, W.P. (2017): Human factors in order picking: A content analysis of the literature. In: International Journal of Production Research 55(5), S. 1260-1276.
- [31] BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2015): Arbeiten ohne Unterlass? – Ein Plädoyer für die Pause. BIBB/BAuA-Faktenblatt 04, 2. Auflage. Dortmund.
- [32] Wendsche, J.; Lohmann-Haislah, A. (2016): Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Pausen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund.

[33] Wendsche, J. (2018): Fehlende Pausen haben weitreichende Folgen: Erholung in der Pflege. BAuA: Aktuell - Ausgabe 2/2018. Amtliche Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund.

[34] Ittermann, P.; Niehaus, J.; Hirsch-Kreinsen, H.; Dregger, J.; ten Hompel, M. (2016): Social Manufacturing and Logistics. Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 47. Dortmund.

[35] Wienzek, T.; Virgillito, A. (2018): Leise Innovation, nicht radikaler Umbruch. Die Einführung einer Industrie-4.0-Lösung bei einem Möbelhersteller – ein Fallbeispiel. In: WSI-Mitteilungen 71(3), S. 204-210.

Verweise auf zu im Fließtext verwiesene Exoskelette

Paexo Shoulder: Ottobock SE & Co. KGaA, <https://paexo.com/paexo-shoulder/>

Laevo: Laevo B.V., <https://www.laevo-exoskeletons.com/>

Chairless Chair: noonee germany GmbH, <https://www.noonee.com/>

Cray X: GBS German Bionic Systems GmbH, <https://www.germanbionic.com/en/crayx-4/>

FORTIS: Lockheed Martin Corporation, <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/industrial.html>

Bild-Quellen für Abbildung 5

Cray X (<https://www.germanbionic.com/en/crayx-4/>);

BackX (<https://www.suitx.com/backx/>);

FLX (<https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton/>);

Laevo (<https://www.laevo-exoskeletons.com/en/home/>);

Paexo Back (<https://paexo.com/paexo-back/>);

Rakunie (<https://shop.n-ippin.com/rakunie-ruecken-protect-system/>);

SoftExo (<https://hunic.com/>);

Chairless Chair (<https://www.noonee.com/>);

LegX (<https://www.suitx.com/legx>);

Airframe (<https://www.levitatetech.com/>);

MATE (<https://mate.comau.com/>);

Paexo Shoulder (<https://paexo.com/paexo-shoulder/>);

ShoulderX <https://www.suitx.com/shoulderx> ;

SkelEx (<https://www.skelex.com/>);

Ironhand (<https://www.bioservo.com/professional/ironhand>);

Paexo Neck (<https://paexo.com/paexo-neck/>);

Paexo Thumb (<https://paexo.com/paexo-thumb-2/>);

V22 (<https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton>)

WHITEPAPER

DYNAMISCHE ORGANISATION: SYNERGIEEFFEKTE BEI DER ZUSAMMENARBEIT VON MENSCH, TECHNIK UND ORGANISATION