

## Das Industrial Engineering der Zukunft Herausforderungen für die Arbeitswissenschaft

Mathias KEIL, Ralph HENSEL

*AUDI AG, Industrial Engineering Methoden  
Ettinger Straße, D-85045 Ingolstadt*

**Kurzfassung:** Vor dem Hintergrund von Globalisierung, zunehmender Komplexität, sozialen Nachhaltigkeitserfordernissen und steigendem Produktivitätsdruck steht das Industrial Engineering vor einem fundamentalen Wandel. Um diesen proaktiv zu treiben, gilt es neue Geschäfts- und Handlungsfelder zu erschließen, die eigenen Prozesse zu optimieren und neue Methoden zu entwickeln. In diesem Kontext ist die Digitalisierung Herausforderung und Chance, da sich mit digitalen Werkzeugen und einem durchgängig digitalisierten Produktentstehungs- und -herstellungsprozess Effizienz und Qualität sowohl der eigenen IE-Prozesse, als auch der Fertigung sowie der indirekten Bereiche verbessern lassen. Der Arbeitswissenschaft kommt hier die Aufgabe zu, dem IE geeignete Methoden und Konzepte bereitzustellen, um auch in Zukunft adäquat auf die genannten Herausforderungen reagieren zu können. Der vorliegende Artikel zeigt Forschungslücken auf und formuliert Anforderungen an die Arbeitswissenschaft aus der Sicht eines Industrieunternehmens.

**Schlüsselwörter:** Industrial Engineering, Digitalisierung, Ergonomie, Produktivitätsmanagement

### 1. Einleitung: Herausforderungen für das IE der Zukunft

Dem Claim „Vorsprung durch Technik“ folgend hat sich die AUDI AG nicht nur als innovativer Hersteller von Premiumfahrzeugen etabliert, sondern es vielmehr geschafft, durch hoch effiziente Produktentstehungs- und -herstellungsprozesse (PEHP) komparative Konkurrenzvorteile gegenüber Wettbewerbern zu erzielen. Im Sinne der beiden Zielsetzungen der Arbeitswissenschaft ist das Industrial Engineering (IE) hierbei Garant für gleichsam produktive wie auch menschengerechte Produktionsprozesse (Hensel 2011). Vor dem Hintergrund aktueller gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und unternehmerischer Herausforderungen durchläuft das Industrial Engineering zurzeit einen Wandel, den es proaktiv voranzutreiben gilt, um für die Zukunft entsprechend aufgestellt zu sein und den verschiedenen Stakeholdern im Unternehmen als Produktivitätsexperte beratend, gestaltend und managend zur Seite stehen zu können. Als Herausforderungen seien insbesondere hervorgehoben:

- 1.) Die *Globalisierung*, die vom IE vor allem bei internationalen, standort- und markenübergreifenden Planungs- und Entwicklungsprojekten neue Zusammenarbeitsmodelle und -konzepte erfordert.
- 2.) Die steigende *Komplexität* von Produkten, Prozessen und Technologien, die sich maßgeblich aus der Vielfalt an Antriebskonzepten im Zuge der Elektromobilität ergibt, aber etwa auch aus Flexibilitätserfordernissen resultiert.

- 3.) Die *Nachhaltigkeit*, wobei im Kontext des demographischen Wandels und steigender Produktivitätserfordernisse besonders die beiden Säulen sozialer und ökonomische Nachhaltigkeit als relevant für das IE hervorzuheben sind.
- 4.) Die *Digitalisierung* ist für das IE gleichermaßen Herausforderung und Chance, um mit neuen, digitalen Werkzeugen und durchgängig digitalisierten Produktentstehungs- und -herstellungsprozessen Effizienz und Qualität sowohl der eigenen IE-Prozesse, aber auch der Fertigung sowie indirekten Bereiche zu verbessern.

Vor diesem Hintergrund muss das IE sein Profil im Sinne eines ganzheitlichen Produktivitätsmanagements schärfen und sich neu erfinden, das heißt, einerseits neue Geschäfts- und Handlungsfelder erschließen, andererseits aber auch seine eigenen Prozesse hinterfragen und optimieren sowie neue Methoden entwickeln. Der Arbeitswissenschaft kommt hierbei im Sinne einer praxeologischen Wissenschaft (Schlick et al. 2018) die Aufgabe zu, dem IE geeignete Methoden und Konzepte bereitzustellen, um auch in Zukunft adäquat auf die beschriebenen Herausforderungen reagieren zu können. Der vorliegende Artikel soll im Folgenden ausgehend von aktuellen und zukünftigen Fragestellungen, mit denen sich das IE auseinandersetzen muss, Forschungslücken aufzeigen und Anforderungen an die Arbeitswissenschaft formulieren.

## **2. Das IE als Garant sozialer Nachhaltigkeit: ganzheitliche Ergonomie im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess**

Mit der Verankerung sozial nachhaltiger Fertigungs- und Unterstützungsprozesse wird sichergestellt, dass die Mitarbeiter weder durch Arbeitsunfälle bedingten gesundheitlichen Risiken, noch unergonomischen Arbeitssystemen oder Überbelastungen ausgesetzt sind, entsprechend ihrer Leistungsvoraussetzungen eingesetzt werden und sich in zufriedenstellenden Arbeitsbedingungen wiederfinden. Mithin geht die Verantwortung des Industrial Engineerings weit über die Compliance mit den Anforderungen des Arbeitsschutzgesetzes hinaus. Einerseits sichert das gelebte Werteverständnis der Ergonomiestrategie des IE bei Audi die Integrität des unternehmerischen Handelns und stellt damit auch einen wichtigen immateriellen Vermögenswert dar. Mit dem Ziel, durch die ergonomische Gestaltung der Produkte, Prozesse und Arbeitsplätze arbeitsbedingte Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage zu reduzieren sowie Mitarbeiter mit Leistungseinschränkungen wieder wertschätzend und wertschöpfend in den Arbeitsprozess zu integrieren (Keil et al. 2010), beeinflusst das IE andererseits auch direkt Fabrikkosten und Produktivität.

Die frühzeitige Einbindung des Industrial Engineerings in die Produktentwicklung gewährleistet die Absicherung der montagegerechten Konstruktion. Mit dem Verfahren PROKON hat die Deutsche MTM-Vereinigung eine praxistaugliche Methode entwickelt, um auf Basis der MTM-UAS-Zeiteinflussgrößen zeitrelevante Montageerschwerisse zu bewerten (Bokranz & Landau 2012). In Kooperation mit Audi wurde von MTM ferner (auf Basis von MTM-HWD®) ein Konzept zur zeitlichen Bewertung der eHPU entwickelt und erfolgreich pilotiert, das bereits in der Phase der Produktentwicklung die Analyse konstruktiv bedingter Fertigungszeiten auf Basis von Konstruktionsdaten erlaubt (Finsterbusch et al. 2019). Zukünftig wird es für das IE vor allem wichtig, frühzeitig Einfluss auf die Produktgestaltung zu nehmen, um die Ergonomie in der Fertigung nachhaltig absichern zu können. Die Arbeitswissenschaft

stellt in diesem Kontext gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zur Verfügung, die als Ausführbarkeitsgrenzen die Verbaubarkeit garantieren. Überdies gilt es jedoch, die Schädigungslosigkeit (Hacker & Richter 1980) der Fertigungsprozesse sicherzustellen, indem mithilfe geeigneter ergonomischer Bewertungsverfahren bereits in den frühen Phasen des PEP bauteilbezogen potenziell auftretende Überbelastungen analysiert werden. Fundierte Bewertungsmethoden für einen praxeologischen Einsatz im Unternehmen im Sinne konzeptiver Ergonomie (Schmauder & Spanner-Ulmer 2014) lassen sich in der Arbeitswissenschaft aktuell jedoch leider noch vermissen.

Gemäß dem Verständnis des Industrial Engineerings als ganzheitliches Produktivitätsmanagement (Spanner-Ulmer et al. 2011) ist die quantitative Bewertung des monetären Nutzens ergonomischer Gestaltungsmaßnahmen unerlässlich, um diese den maßnahmenrelevanten Kosten ergonomischer Produkt- und Prozessgestaltung in einer Kosten-Nutzen-Analyse gegenüberstellen zu können. Erste arbeitswissenschaftliche Konzepte zur Bewertung von Qualitäts- und Produktivitätsverbesserungen durch ergonomische Arbeitsplatzgestaltung im Rahmen von Return-on-Investment-Betrachtungen (Neubert 2013; Fritzsche et al. 2019) versuchen Hilfestellung zur Lösung dieser Problematik zu geben. Bei Hinterfragung der Begründungszusammenhänge erweist sich deren Übertragbarkeit auf die Unternehmenspraxis aufgrund der Unternehmensspezifität der Rahmenbedingungen als problematisch. Folglich existieren in der Arbeitswissenschaft aktuell keine fundierten Konzepte, die die analytische Beurteilung der Amortisation von Ergonomieinvestitionen anhand einer RoI-Berechnung erlauben.

Im Kontext der beschriebenen Problemstellungen hat Audi die Bauteilergonomie zum Primat im PEHP erklärt und einen Ergonomieprozess mit definierten Meilensteinen sowie Quality-Gates verankert. Mit der Entwicklung einer Methodik zur Ergonomiebewertung auf Bauteil-Ebene, auf Basis des Audi-eigenen Ergonomiebewertungsverfahrens APSA (Arbeitsplatzstrukturanalyse; Bogus & Dorn, 2010), schließt Audi eine methodische Lücke der Arbeitswissenschaft. Überdies wurde im IE erfolgreich ein Kostenäquivalent entwickelt, um den Nutzen von Ergonomiemaßnahmen quantifizierbar zu machen und monetär bewerten zu können. Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Realitätstreue waren die Kriterien der Entwicklung der Kennzahl. Sie berücksichtigt arbeitsbedingte Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage für muskuloskeletale Erkrankungen auf Basis interner Statistiken, wobei darauf geachtet wurde, den direkten Bezug zwischen belastenden Tätigkeiten und konkreten Krankheitsbildern wiederzugeben und monetär darzustellen. Ferner fließen zusätzlich Betreuungs- und Folgekosten in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ein. Im Ergebnis werden zum einen für jeden APSA-Belastungspunkt, die Relevanz möglicher Erkrankungen berücksichtigende, Ergonomiekosten ausgewiesen und zum anderen ein ergonomischer Deckungsbeitrag je Fahrzeug berechnet. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Schließung einer arbeitswissenschaftlichen Forschungslücke geleistet. Die Anwendung des Kostenäquivalentes auf ergonomisch kritische Top-Bauteile erlaubt die Fokussierung im PEHP, wobei die Einhaltung ergonomischer Prämissen und Richtwerte die Integrität sichert.

Wie bereits dargestellt wurde, ist es Aufgabe des Industrial Engineerings durch die ergonomische Gestaltung der Arbeitssysteme und -prozesse gesundheitlichen Gefährdungen der Mitarbeiter vorzubeugen. Dem TOP-Prinzip des Arbeitsschutzes (§4 ArbSchG) folgend, betrachtet Audi Exoskelette als innovativen Ansatz, durch deren zielgerichteten Einsatz sich die physische Beanspruchung der Mitarbeiter in Produk-

tion und Logistik zusätzlich zu technischen und organisatorischen Gestaltungsmaßnahmen reduzieren lässt. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels bieten diese zudem das Potenzial, leistungsgewandelte Mitarbeiter wieder in einen wertschöpfenden und wertschätzenden Einsatz in Produktion und Logistik zu reintegrieren (Hensel & Keil 2018). Mit der Geschwindigkeit der technischen Entwicklung auf dem Gebiet aktiver und passiver Exoskelette hält die arbeitswissenschaftliche Begleitforschung aktuell nur schwer Schritt und eine Vielzahl offener Fragestellungen steht dem Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis entgegen. Das macht die dezidierte Bearbeitung des Themenfeldes notwendig, um dem Betriebspraktiker im Sinne evidenzbasierter Ergonomie Hilfestellung bei der Pilotierung und Implementierung von Exoskeletten zu geben. Für die Auswahl eines Exoskelettes zur Unterstützung in spezifischen Belastungssituationen ist es notwendig, deren biomechanische Wirksamkeit analytisch nachzuweisen. Existierende Studien beziehen sich jedoch nur auf einzelne, ausgewählte Systeme, wobei deren Erkenntnisgewinn aufgrund der niedrigen Probandenzahl sowie der Laborbedingungen zumeist nicht über einen Proof of Concept hinausgeht (Steinhilber et al. 2018). Zudem lässt sich die Entlastung durch Exoskelette aktuell methodisch bedingt nicht mithilfe existierender Verfahren zur ergonomischen Arbeitsplatzbewertung beurteilen. Eine analytische Engpassbetrachtung einzelner Körperregionen wäre die methodische Voraussetzung, um sowohl Entlastung als auch Lastumverteilung adäquat berücksichtigen zu können. Doch auch zur Lastumverteilung existieren bisher keine gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse zu Exoskeletten aus Längsschnittstudien, woraus Vorbehalte bezüglich der rechtlichen Verantwortung beim Einsatz von Exoskeletten im Unternehmen resultieren.

Mit dem Ziel, einen Beitrag zur Schließung dieser arbeitswissenschaftlichen Forschungslücken zu leisten, überprüft das Industrial Engineering der AUDI AG im Rahmen umfangreicher Interventionsstudien die Tauglichkeit verschiedener Exoskelette für den Einsatz der industriellen Praxis. Hauptaugenmerk liegt darauf, die Auswirkungen des Einsatzes von Exoskeletten beispielsweise zur Entlastung des unteren Rückens bei statischer Haltungsarbeit sowie der Lastenmanipulation, für Stehtätigkeiten sowie Überkopftätigkeiten, zu untersuchen. Im Mittelpunkt der subjektiven Evaluation stehen neben der Wirksamkeitsüberprüfung vor allem Aspekte, wie Ergonomie, Tragekomfort, Usability, Sicherheit, Nutzerakzeptanz oder psychische Belastung, wofür eigens ein standardisierter Fragebogen entwickelt wurde, dessen Validität durch die Nutzung existierender Skalen sichergestellt werden konnte. Damit rücken die Mitarbeiter als potenzielle Nutzer in den Mittelpunkt der Pilotierung und Implementierung von Exoskeletten als menschenzentrierte, ergonomische Assistenzsysteme. Einem partizipativen Prozess folgend sind sie in die Weiterentwicklung der Systeme involviert, indem sie mit ihrem Feedback aus den Feldstudien zur Verbesserung der Exoskelette beitragen. Zur Absicherung eines evidenzbasierten Implementierungsentscheides ist die objektive Evaluation der zu implementierenden Exoskelette in unabhängigen, arbeitswissenschaftlichen Laborstudien unerlässlich, deren Durchführung Audi im Rahmen von Wissenschaftskooperationen unterstützt. Beispielhaft sei die kombinierte Evaluation des Chairless Chairs mittels Laboruntersuchung und Felderprobung hervorzuheben (Hensel & Steinhilber 2018). Mit dem Chairless Chair hat die AUDI AG als erster deutscher Automobilhersteller ein passives Exoskelett in den produktiven Einsatz gebracht, das bei Stehtätigkeiten entlasten soll, etwa um muskuloskeletalen und venösen Erkrankungen vorzubeugen. Aufgrund fehlender arbeitswissenschaftlicher Leitlinien wurde bei Audi eigens zudem ein dezidierter Geschäftsprozess für die Pilotierung und Implementierung von Exoskelet-

ten etabliert. Einem partizipativen Prozess folgend werden Ergonomen, Betriebsmediziner, Arbeitssicherheit, Arbeitnehmervertretung und vor allem die betroffenen Mitarbeiter frühzeitig in die Pilotierung und den Rollout einbezogen. Die arbeitsmedizinische Begleitung der Exoskelettnutzer ist unerlässlich, da sich - wie bereits erläutert - aktuell keine Aussagen zu etwaigen Langzeitfolgen treffen lassen. Dies ermöglicht einerseits, in Längsschnittstudien abgesicherte Erfahrungen sowohl zum Nutzen als auch etwaigen negativen Langfristfolgen zu sammeln, und andererseits frühzeitig erste Anzeichen negativer gesundheitlicher Folgen erkennen und muskuloskelettalen Erkrankungen vorbeugen zu können.

Dem Arbeitsschutzgesetz (§5 ArbSchG) folgend ist Audi verpflichtet, Gefährdungen der Beschäftigten am Arbeitsplatz zu ermitteln. Hierfür kommt die unternehmenseigene Arbeitsplatzstrukturanalyse (APSA) zur ergonomischen Bewertung der gewerblichen Arbeitsplätze zum Einsatz (Bogus & Dorn 2010), mit deren Hilfe die physische Arbeitsbelastung am Arbeitsplatz analysiert wird. Dabei handelt es sich um ein intern entwickeltes Ergonomiebewertungstool, basierend auf der Systematik des Automotive Assembly Worksheets (Schaub & Ghezel-Ahmadi 2007). Es ermöglicht die Berücksichtigung von Körperhaltungen, Kräften und manueller Lastenhandhabung, wobei die Körperhaltungen getrennt nach Körperbereichen (Arme/Schulter, Oberkörper/Rücken und Beine) bewertet werden. Die Arbeitsbelastung wird für eine gegebene Arbeitsmethode ermittelt, die gemäß einem definierten Produktionsprogramm (Menge und Produktionsmix) in Abhängigkeit von den Arbeitsbedingungen ausgeführt wird. Die Bewertung der einzelnen ergonomischen Kriterien ergibt einen Gesamtrisikowert, der durch ein Ampelsystem veranschaulicht wird. Dieses visualisiert die Anforderungen an die Arbeitsplatzgestaltung und hilft, notwendige organisatorische Maßnahmen (Personaleinsatz, Job-Rotation, etc.) abzuleiten (Bogus & Dorn 2010). Überdies unterstützt die Trennung nach Körperbereichen bei der Haltungsanalyse die Personaleinsatzsteuerung leistungsgewandelter Mitarbeiter, deren Leistungseinschränkungen entsprechend der Belastungsarten der APSA klassifiziert sind (Bös 2007).

In der Automobilindustrie hat sich vor allem auch das EAWS, das Ergonomic Assessment Worksheet, als Standardmethode zur Ergonomiebewertung durchgesetzt (Kunze 2019). Die aktuellen arbeitswissenschaftlichen Ergonomiebewertungsverfahren weisen, abgesehen von Implausibilitäten in der Punktebewertung und Validierungsdefiziten, methodische Schwachstellen auf, die das Anwendungspotenzial sowohl für aktuelle als auch zukünftige unternehmenspraktische Fragestellungen schmälern. Als kritisch sei insbesondere die summarische Bewertung der Belastungssituationen hervorgehoben. Das daraus resultierende ungenügende, grobe Auflösungsvermögen macht beispielsweise die Bewertbarkeit sowohl des ergonomischen Nutzens als auch der Lastumverteilung beim Einsatz von Exoskeletten im Rahmen der Gefährdungsanalyse unmöglich (Hensel & Keil 2018). Ferner wird dadurch die Personaleinsatzsteuerung leistungsgewandelter Mitarbeiter entsprechend ihrer Leistungseinschränkungen erschwert, da ein spezifischer Abgleich mit der bei der Arbeitstätigkeit belasteten Körperregion zur Vermeidung von Überbeanspruchungen nicht möglich ist. Überdies kommt der Entwicklung belastungsorientierter Rotationskonzepte als arbeitsorganisatorische Gestaltungsmaßnahme im IE eine hohe Bedeutung zu. Prämisse ist, dass mit einer körperengpassorientierten Rotation ein ausgewogener Belastungswechsel erreicht wird, um die Überbelastung einzelner Körperregionen zu vermeiden.

Eine analytische Engpassbetrachtung einzelner Körperregionen wäre die methodische Voraussetzung, um die aufgezählten Defizite zu beheben. In Ergänzung um Dosisbetrachtungen für die jeweiligen Körpersegmente, die sich an arbeitsbedingten Krankheitsbildern und deren Eintrittswahrscheinlichkeit orientieren, kann auf Basis der Bewertung von Belastungsintensität und -dauer/-häufigkeit die Risikobewertung erfolgen. In Zusammenarbeit mit den Arbeitsmedizinern des Unternehmens arbeitet das Industrial Engineering der AUDI AG aktuell an einer entsprechenden Überarbeitung der Arbeitsplatzstrukturanalyse (APSA).

### **3. Das IE als Garant ökonomischer Nachhaltigkeit: Digitalisierung im IE 4.0**

Die Digitalisierungsstrategie des IE bei Audi erfordert die Weiterentwicklung existierender Planungsmethoden, die Implementierung innovativer digitaler Planungstools und die Etablierung automatisierter Auswertungsroutinen im Produktionsplanungsprozess, mit dem Ziel, sowohl dessen Effizienz als auch Qualität weiter zu steigern (Hensel et al. 2018). So lassen sich durch einen durchgängig digitalen Produktentstehungs- und -herstellungsprozess bereits frühzeitig in der Phase der Produktentwicklung auf Basis digitaler Konstruktionsdaten Ergonomie und Fertigungszeit bewerten und mit steigendem Datenreifegrad in der Produktionsplanung mittels digitaler Menschmodelle simulativ absichern. VR-basierte Workshops erleichtern hierbei die internationale, standortübergreifende Zusammenarbeit. Dem Selbstverständnis des IE als Produktivitätsexperte folgend ist die Digitalisierung Voraussetzung für das ganzheitliche Produktivitätsmanagement im Serienprozess, zur Beherrschung der Komplexität und Bewältigung der Flexibilitätserfordernisse sowohl bei der Taktung der Arbeitsplätze als auch der Optimierung der Fertigungsprozesse. Aufgabe der Arbeitswissenschaft ist auch in diesem Kontext, dem Industrial Engineering geeignete Methoden und Werkzeuge für das ganzheitliche Produktivitätsmanagement bereitzustellen, um die digitalisierte Arbeitswelt analysieren und gestalten zu können. Insbesondere gilt es, traditionelle arbeitswissenschaftliche Methoden für die Anwendung in der Industrie 4.0 entsprechend weiterzuentwickeln und Standards für das IE der Zukunft zu schaffen.

Wie bereits erwähnt, werden im Rahmen der APSA ergonomische Informationen und Prozessdaten mit unterschiedlichen Methoden getrennt erfasst. Audi untersucht aktuell das Potenzial der Bewegungserfassung mittels Motion-Capturing (MoCap), um zukünftig alle notwendigen Prozessinformationen simultan, schnell und einfach aufnehmen zu können, mit dem Ziel, teilautomatisiert Ergonomieanalysen zu generieren. Erfasste Bewegungsdaten werden vom System verarbeitet und in einen Datenstrom ergonomischer Einflussfaktoren umgewandelt. Der Datenstrom kann basierend auf APSA automatisch interpretiert werden. Im Rahmen der computergestützten Ergonomie (Bös 2007) lassen sich mithilfe von MoCap zudem auch dynamische und natürliche Bewegungsinformationen für menschliche Simulationswerkzeuge, wie imkema, gewinnen (Foxlin 2002). Mit dem Ziel, ein inertialsensorbasiertes (Inertial Measuring Unit: IMU) MoCap-System in einem umfassenden Validierungsprozess zu validieren, wurde vom IE der AUDI AG auf Basis der Measurement Systems Analysis (AIAG 2010) ein fundiertes Validierungskonzept entwickelt. Mit Hilfe dessen wurde einerseits die Hardware in statischen und dynamischen Messungen auf Richtigkeit, Präzision und Stabilität untersucht, andererseits die Software in einem Paralleltestvergleich auf Konformität mit dem Regelwerk der APSA überprüft. Das Inertialsensorsystem hat eine mittlere Abweichung des Präzisionsmaßes von  $0,45 \pm$

0,51°; das Richtigkeitsmaß weist eine mittlere Abweichung von  $4,69 \pm 4,14^\circ$  auf. Zudem befinden sich 89% der aufgenommenen Daten in einem hohen bis mittleren Genauigkeitsbereich. Die Validierungsergebnisse zeigen, dass das untersuchte Motion-Capture-System insgesamt valide Ergebnisse liefert und entschieden zur Reduktion des Analyseaufwandes sowie zur Steigerung der Objektivität bei der Ergonomiebewertung beiträgt. Damit erweist sich das untersuchte IMU-MoCap-System für die digitale Ergonomiebewertung als geeignetes IE-Werkzeug der Zukunft.

Die Bewertung von Ergonomie und Fertigungszeit durch das IE erfolgt im Planungsprozess aktuell weitestgehend getrennt voneinander, wobei neben der Belastungshöhe der zeitliche Aspekt der Belastungsdauer maßgeblichen Einfluss auf die Risikobewertung hat. Unter Beteiligung der AUDI AG wurde in einem Kooperationsprojekt zwischen der Deutschen MTM-Vereinigung, Unternehmen aus der Automobil- und Hausgerätebranche sowie Forschungspartnern das neue MTM-Prozessbausteinsystem MTM-HWD® (Human Work Design) entwickelt, mit dem Ziel Ergonomie- und Zeitbewertung zu parallelisieren, um nicht nur die Effizienz der IE-Prozesse in Planung und Serie zu steigern (Kuhlang 2018), sondern auch die Qualität der Planungsergebnisse, insbesondere bezüglich der Ergonomie, zu verbessern. Mit dieser neuartigen Prozessbeschreibungssprache können menschliche Arbeitsabläufe erstmals hinsichtlich aller relevanten zeitlichen und ergonomischen Einflussgrößen detailliert beschrieben und bewertet werden. Die Erstellung einer MTM-HWD-Analyse erfolgt letztlich in drei Schritten: (1) Erstellung der (Grob-)Prozessbeschreibung anhand der HWD-Aktionen, (2) Einstufung der Einflussgrößen für die jeweiligen HWD-Aktionen zur Detaillierung der Prozessbeschreibung sowie (3) Zeitberechnung für die Zeitdauer der HWD-Aktionen auf Basis der Einzelzeiten der beschriebenen zeitrelevanten Einflussgrößen sowie der Gesamtzeit des Ablaufabschnittes. Diese chronologische Dokumentation des Arbeitsablaufs und die standardisierte Beschreibungslogik von MTM-HWD® bilden eine nützliche Basis für die Digitalisierung im Industrial Engineering mit Methoden und Werkzeugen der virtuellen Ergonomie, wie Motion-Capturing oder Simulationen mit digitalen Menschmodellen (Mühlstedt 2012). Zugleich ist die Nutzung digitaler Planungswerkzeuge die Voraussetzung für einen effizienten Einsatz von MTM-HWD® im Planungsprozess.

In Kooperation zwischen MTM und Audi wurde das Konzept des *parametrisierbaren Datenstroms menschlicher Arbeit* (pDmA) entwickelt. Dieser bedient sich die Beschreibungslogik von MTM-HWD®, das heißt maßgeblich die diskreten - anhand der Piktogramme dargestellten - ergonomischen und zeitlichen Einflussgrößen ohne die systemimmanente zeitliche Bewertung, und erlaubt die Digitalisierung des Arbeitsablaufs auf Basis (gewonnener) digitaler Bewegungsdaten aus Menschmodell-Simulationen oder MoCap-Aufnahmen. In einer sogenannten Simulationsanalyse werden der Arbeitsablauf, die Arbeitsobjekte mit ihren Eigenschaften und die Rahmenbedingungen des Arbeitsplatzes zusammengeführt und somit erst bewertbar (Finsterbusch et al. 2019). Über diese standardisierte Schnittstelle kann die Simulationsanalyse in die Planungssoftware, beispielsweise TiCon4, zur zeitlichen und ergonomischen Bewertung übertragen werden. Die zeitliche Bewertung in der Planungssoftware kann indes nicht nur über MTM-HWD®, sondern beispielsweise auch auf Basis von MTM-UAS geschehen, wozu der parametrisierte Datenstrom um zusätzliche Informationen zu den Rahmenbedingungen der Arbeitsausführung zu ergänzen wäre. Die Interpretation der ergonomischen Einflussgrößen erfolgt durch Koppelung mit (theoretisch) jedem Ergonomiebewertungsverfahren, beispielsweise EAWS oder APSA. Für die Überführung und Interpretation der zeitlichen und ergonomischen In-

formationen aus dem pDmA in andere Ergonomiebewertungsverfahren, wie die Leitmerkmalmethoden, RULA oder REBA, ist die Entwicklung geeigneter Decoder notwendig. Insbesondere sind jedoch die existierenden Bewertungsverfahren für die Digitalisierung zu präzisieren und die zu bewertenden Belastungsarten mathematisch eindeutig zu definieren, sodass beispielsweise generische Körperhaltungen über Haltungsklassifikationen automatisch erkannt und zur Ergonomiebewertung interpretiert werden können.

Aus der Beschreibungslogik von MTM-HWD<sup>®</sup> ergeben sich vielfältige Vorteile, die helfen können, die im Vorfeld beschriebenen Defizite existierender Ergonomiebewertungsverfahren zu beheben. Durch die untrennbare Verbindung von ergonomischer und zeitlicher Analyse lassen sich zum einen (anhand der Piktogramme hoher Belastungsintensitäten für die einzelnen Körpersegmente) spezifische Belastungsspitzen im Arbeitsablauf ausweisen. Zum anderen kann dank der körpersegmentbezogenen Beschreibung eine engpassbezogene Betrachtung der Belastungssituation erfolgen, um ein ausgeglichenes Belastungsniveau am Arbeitsplatz generieren zu können. Zugleich bildet die Prozessbeschreibung den Zielkorridor sowohl für das ergonomische als auch zeitliche Optimum ab und zeigt damit ganz konkret Verbesserungspotenzial für die ergonomische Arbeitsgestaltung auf, das sich assistiert von digitalen Planungswerkzeugen effizient heben lässt, um dem Gestaltungsanspruch des Industrial Engineers als Produktivitätsexperten gerecht zu werden. Das vielfältige Potenzial der HWD-Prozessbeschreibung etwa zur Generierung belastungsausgeglichener Rotationssystematiken oder auch zur Personaleinsatzsteuerung leistungsgewandelter Mitarbeiter wurde bis jetzt noch nicht methodisch von der Arbeitswissenschaft erschlossen. Hierfür gilt, es geeignete Methoden und Werkzeuge zu entwickeln und zu validieren, um dem Unternehmenspraktiker passgenaue Tools zur Verfügung zu stellen, die in der Lage sind, die Informationen der HWD-Prozessbeschreibung zu interpretieren und in konkrete Maßnahmen zu übertragen.

Der Planungsingenieur im IE muss sich aktuell vorstellen, wie ein Prozess ablaufen soll, um vorwiegend textbasiert Sollzeit- und Ergonomieanalysen zu erzeugen und diese an realen Prototypen in Prozess-Workshops zu plausibilisieren. Der IE-Planer steht künftig jedoch vor der Herausforderung, Fertigungsprozesse hinsichtlich frühzeitig virtuell abzusichern, um der steigenden Produktkomplexität und den erhöhten Flexibilitätserfordernissen zu begegnen. Obgleich bereits seit vielen Jahrzehnten rechnerunterstützte Methoden zum Einsatz kommen, indem aufbauend auf den in der Produktentwicklung generierten Daten und unter Verwendung digitaler Informationen über das Layout von Werkhallen und Arbeitsplätzen sowie geometrischen Informationen etwa zu Ressourcen Fertigungsprozesse geplant werden, findet diese Vorgehensweise für die Planung menschlicher Arbeitsabläufe nur sehr eingeschränkt Verwendung. Es existieren zwar bereits eine Vielzahl verschiedener arbeitswissenschaftlicher, digitaler Menschmodelle für spezifische Anwendungsfälle, wobei der durchgängigen Verwendung im PEHP häufig der Aufwand zur Simulationserstellung entgegensteht (Mühlstedt 2012).

Im Spannungsfeld von sozialer und ökonomischer Nachhaltigkeit erarbeitet das Industrial Engineering der AUDI AG daher innovative Konzepte zur frühzeitigen virtuellen Absicherung von Ergonomie und Fertigungszeit im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess, um im Sinne eines ganzheitlichen Produktivitätsmanagements eine neue Planungsqualität erreichen zu können. So lassen sich nicht nur Planungsprozesse beschleunigen, sondern die Fertigungsprozesse frühzeitig ergonomisch und zeitwirtschaftlich absichern.



Im Kern der digitalen Revolution des IE 4.0 steht die durchgängige Digitalisierung des PEHP auf Basis des unternehmenseigenen Planungssystems, das um Planungsassistenzsysteme, wie das digitale Menschmodell *ema* („Editor Menschlicher Arbeit“), VR-Anwendungen, etwa für virtuelle Workshops, sowie intelligente Apps, beispielsweise zur Taktung, ergänzt wird. Die Software *ema Work Designer* (der *imk automotive GmbH*) ermöglicht mit der grafischen Modellierung manueller Arbeitsprozesse sowie deren ergonomischer und zeitwirtschaftlicher Analyse nicht nur die Planung, Simulation und Visualisierung von Arbeitsprozessen, sondern besonders die Dokumentation der Planungsergebnisse. Mit *ema* wird ein völlig neuer Ansatz zur effizienten Simulation mittels Verrichtungsbibliothek verfolgt, über die parametrisierte Tätigkeitsbeschreibungen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen erstellt werden. Mit dem *Planer-Cockpit* hat Audi zudem ein Konzept erarbeitet, um den Nutzer intuitiv und effizient durch die Simulationserstellung zu führen. Die so erstellten Tätigkeitsbeschreibungen werden ausgewertet, plausibilisiert und simuliert (Bauer et al. 2019). Obwohl der Visualisierung mittels Simulation als Kommunikationsmittel für Dokumentation, Präsentation und Unterweisung eine bedeutende Rolle zukommt, ist das Hauptergebnis in der Absicherung der Ausführbarkeit des Arbeitsprozesses zu sehen.

Die generierten Planungsergebnisse können im weiteren Verlauf des Planungsprozesses von weiteren Assistenzsystemen genutzt werden. So unterstützt die *ema-Simulation* die internationale, standortübergreifende Kooperation bei Fahrzeugprojekten in virtuellen Workshops, perspektivisch wird sogar die Simulationserstellung und -bearbeitung im virtuellen Raum möglich sein. Ebenso kann beispielsweise ein intelligenter, digitaler Taktungsassistent bidirektional auf die Planungsergebnisse des *ema Work Designers* zugreifen, um Taktungsszenarien zu entwickeln und zur Validierung an den Editor menschlicher Arbeit zurücksenden. Dies trägt entschieden zur Erhöhung der Taktungsqualität bei, da sich die Taktung vor dem Hintergrund steigender Prozesskomplexität und existierender Zielkonflikte als multikriterielles Optimierungsproblem darstellt, das mit herkömmlichen Methoden der manuellen, erfahrungsbasierten Taktung nicht zu bewältigen ist. Intelligente Taktungsalgorithmen erlauben die Kreierung unterschiedlicher Taktungsszenarien unter Berücksichtigung gewichteter Kriterien, wie Ergonomie, Zeitspreizung, Auslastung, Wertschöpfungsorientierung oder Betriebsmittelnutzung. Die Basis der Taktung, ebenso wie der Fertigungsplanerstellung, ist der Vorranggraph, dessen Erstellung aufgrund der komplexen Interrelation von Verbaureihenfolgen, Erreichbarkeiten oder auch Bauraumbedingungen ein ebenso komplexes Optimierungsproblem darstellt. Im Volkswagen-Konzern wurde die Graphentheorie aus dem Operations Research (OR) als vielversprechender Lösungsansatz identifiziert (Domschke et al. 1997), der es erlaubt, in Kombination mit digitalen Berechnungsalgorithmen automatisch Vorranggraphen zu erstellen.

Ziel der Digitalisierung des Industrial Engineerings ist demnach, entsprechend dem Planungsfortschritt von Produkt und Prozess die digitalen Konstruktionsdaten des Produktes sowie der Bauteile, des Werkhallen- und Arbeitsplatzlayouts, der zu benutzenden Werkzeuge sowie sonstiger Ressourcen, wie Robotern und Anlagen, zu nutzen, um mit steigendem Datenreifegrad den zu planenden Fertigungsprozess stetig zu detaillieren, ständig zu hinterfragen und zu optimieren. Damit rücken die Planung des Arbeitsprozesses und die Arbeitssystemgestaltung, etwa mithilfe digitaler Menschmodell-Simulationen, in den Fokus der Tätigkeit des Industrial Engineers. Im Zuge dessen wird sich auch der Fokus des Datenmanagements von der reinen Datenermittlung, -verarbeitung und -aufbereitung entfernen, denn eine Vielzahl von

Daten wird durch die Planungssysteme automatisch generiert werden. Es bedarf jedoch des Industrial Engineers als Datenmanager, der die erforderlichen Arbeitsdaten identifiziert, die Rahmenbedingungen für das Datenmanagement schafft, deren Validität prüft und die Datensicherheit gewährleistet. Insbesondere liegt es in der Verantwortung des Industrial Engineers, die Prozesse hierbei so zu gestalten und sicherzustellen, dass sie sowohl aus ergonomischer als auch zeitwirtschaftlicher Perspektive realistisch abgebildet und ausführbar sind. Das Funktionsbild des Industrial Engineers bei Audi unterliegt demzufolge einem fundamentalen Wandel zum Produktivitätsexperten - vom Verwalter zum Gestalter. Die Mitarbeiter im IE gestalten maßgeblich den Erfolg der Industrie 4.0 mit. Organisationsgestaltung, Change Management, Führung und Qualifizierung sind demnach wichtige Handlungsfelder, die parallel zur Weiterentwicklung und Implementierung der IE-Werkzeuge der Zukunft angegangen werden müssen.

#### 4. Fazit: Anforderungen an die Arbeitswissenschaft

Obgleich die Anfänge des Industrial Engineerings bis zur *industriellen Revolution* im 18. Jahrhundert zurückreichen, hat es sich erst mit der Einführung arbeitsteiliger Massenproduktion zur Zeit der *zweiten industriellen Revolution* als eigenständige Disziplin etabliert, wobei Effizienzsteigerung und Rationalisierung Schwerpunkte bildeten. Nachdem anfangs technische Aspekte im Fokus standen, wurden die Gestaltung von Arbeitsmethoden und Arbeitsplätzen schnell als ebenso bedeutsam erkannt. Mit der weitreichenden Automatisierung der Fertigung durch den Einsatz von Elektronik während der *dritten industriellen Revolution* in den 1970er Jahren hat sich das IE um die rechnergestützte Modellierung, Simulation und Optimierung von Prozessen mit OR-Methoden erweitert. Nachdem die erste Euphorie zur vollständigen Fertigungsautomatisierung verfliegen war, hat sich das IE mit dem Siegeszug des Toyota-Produktionssystem der ganzheitlichen Produktivitätsbetrachtung verschrieben. Damit ist der Mitarbeiter verstärkt in den Fokus gerückt und das Themenfeld der Ergonomie hat spätestens mit dem demographischen Wandel noch stärker an Bedeutung gewonnen (Hensel 2011). Mit der *vierten industriellen Revolution*, der Implementierung intelligenter, digital vernetzter Fertigungsketten und -systeme in der Industrie 4.0, erfährt das Industrial Engineering abermals eine Neuausrichtung, die jedoch viel mehr revolutionär als evolutionär ist. Im Mittelpunkt stehen durchgängig digitalisierte Planungs- und Produktionsprozesse, um mittels digitaler Planungs- und Assistenzsysteme sowohl die IE-Prozesse als auch die Kern- und Unterstützungsprozesse der direkten und indirekten Bereiche ganzheitlich unter Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation zu optimieren. In diesem Kontext liegt es in der Verantwortung der Arbeitswissenschaft, Methoden für das ganzheitliche Produktivitätsmanagement in der digitalisierten Arbeitswelt bereitzustellen und Standards für das IE der Zukunft zu schaffen. Hierfür gilt es einerseits, neue Methoden und Werkzeuge für die digitale Arbeits- und Prozessgestaltung zu entwickeln. Andererseits müssen existierende arbeitswissenschaftliche Methoden weiterentwickelt werden, um diese im Zeitalter der Digitalisierung nutzbar zu machen. Als symptomatisch sei die Entwicklung von MTM-HWD<sup>®</sup> hervorgehoben, wo das traditionelle MTM-Prozessbaustein grundlegend neu durchdacht wurde und damit nicht nur das Anwendungsspektrum erweitert, sondern vor allem auch die Brücke in die digitale Welt geschlagen wird.

In den vorangegangenen Ausführungen wurde bereits darauf verwiesen, dass existierende, summarische Methoden zur Ergonomiebewertung auf Grund der fehlenden analytischen Detaillierung an Ihre Grenzen stoßen. Die Entwicklung körpersegmentbezogener Bewertungsverfahren auf Basis von segmentspezifischen Dosiskonzepten könnte an dieser Stelle Abhilfe schaffen, nicht nur um detailliertere Aussagen zur Belastungssituation am Arbeitsplatz zu schaffen, sondern insbesondere um Rotationskonzepte und Arbeitsplatz-Belastungsprofile als organisatorische Gestaltungsmaßnahmen abzuleiten, Exoskelette bewertbar zu machen und die Personaleinsatzsteuerung leistungsgewandelter Mitarbeiter zu verbessern. Die damit verbundene steigende Komplexität lässt sich letztlich nur mit digitalen Methoden und Modellen beherrschen, zum Beispiel durch die Nutzung von Menschmodell-Simulationen oder Motion-Capturing-Systemen. Insbesondere wäre auch vorstellbar, die Funktionalitäten digitaler Menschmodelle auch weitere physiologische Parameter, wie Muskelaktivität, muskuläre Ermüdung oder Gelenkmomentberechnungen zu erweitern oder physiologische Einschränkungen leistungsgewandelter Mitarbeiter modellhaft abzubilden. Die Arbeitswissenschaft hat dabei die Validität der zugrundeliegenden biomechanischen Modelle sicher zu stellen. Dafür ist nicht zuletzt auch noch umfangreiche Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Wirksamkeit und Langfristfolge von Exoskeletten sowie zur Belastungssuperposition und -kompensation notwendig, um gesicherte arbeitswissenschaftliche Kenntnisse für die Konzeption der Methoden zu schaffen.

Ferner wurde das Fehlen geeigneter Methoden und Konzepte thematisiert, um die Ergonomie frühzeitig konzeptiv in die Produktentwicklung einzubinden, um die Verbaubarkeit der Bauteile im Sinne der Schädigungslosigkeit sicherzustellen. Nachdem bereits umfangreiche Normen und Standards zu Ausführbarkeitsgrenzen existieren, fehlen fundierte Methoden zur Ergonomiebewertung auf Bauteilebene, um dem Konstrukteur Verbesserungspotenzial aufzuzeigen. Überdies wurde dargelegt, dass aktuell keine Ansätze vorliegen, die die monetäre Bewertung der Ergonomiekosten erlauben, sodass weder der Return-on-Invest für Produktänderungen noch für Maßnahmen der Arbeitsplatzverbesserung ausgewiesen werden kann. Hierfür sollten von der Arbeitswissenschaft geeignete Konzepte entwickelt werden, die es dem Betriebspraktiker erlauben, über geeignete Parameter die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen abzubilden, um ein Ergonomie-Kostenäquivalent zu berechnen.

Wie bereits ausführlich dargelegt wurde, unterliegt das Industrial Engineering vor dem Hintergrund der Digitalisierung einem fundamentalen Wandel. Insbesondere stellt sich dies für das IE als Chance da, digitale Planungs- und Assistenzsysteme zu nutzen, um der Komplexität der unternehmenspraktischen Fragestellungen in Zukunft überhaupt beherrschen zu können. Damit besteht sowohl für das IE als auch die Arbeitswissenschaft die Herausforderung, sich neue Themenfelder zu erschließen und durch den Transfer von Methoden und Konzepten aus anderen Wissenschaftsdisziplinen das eigene Portfolio zu erweitern. Beispielhaft wurde die Übertragung von Ansätzen der Graphentheorie aus dem Operations Research hervorgehoben, um dem IE Hilfsmittel zur ganzheitlichen Taktung unter Berücksichtigung von Produktivität und Ergonomie zur Verfügung stellen zu können. Außerdem können beispielsweise bewährte wissenschaftliche Methoden aus dem Bereich von Data Mining und Data Analytics helfen, die Vielzahl an digitalen Prozessinformationen aus der Fertigung in der Industrie 4.0 zu untersuchen, um Muster abzuleiten und Interrelationen zu erkennen, mit dem Ziel Handlungsempfehlungen für die Prozess- und Arbeitsgestaltung abzuleiten.

Die Arbeitswissenschaft zeichnet sich durch ihre Praxeologie aus, was insbesondere durch die Nutzung von Wissen aus anderen Wissenschaftsdisziplinen charakterisiert wird. Dies ist Herausforderung und Chance zu gleich: Chance, um Antworten auf eine Vielzahl neuer unternehmenspraktischer Fragestellungen zu geben, Herausforderung, mit der rasanten Entwicklung in allen relevanten Themengebieten Schritt zu halten und sich auch Wissen aus neuen Wissenschaftsdisziplinen, wie der Informatik, dem OR, der Sportwissenschaft oder Datenanalyse zu erschließen. Dies ist jedoch notwendig, um das Industrial Engineering bei der Neuausrichtung zu unterstützen und fit für die Zukunft zu machen.

## 5. Literatur

- AIAG, Automotive Industry Action Group (2010) Measurement Systems Analysis, Reference Manual. Michigan.
- Bauer S, Sylaja VJ, Fritzsche L, Ullmann S (2019, in press) Task-based digital human simulation with EMA – Basic functionalities, applications and future works. In: G Paul & S Scataglini (Hrsg) Digital Human Modeling and Posturography. London: Elsevier.
- Bogus T, Dorn R (2010) Berücksichtigung des Arbeitsplatzbedarfs für einsatzkritische leistungsgewandelte Mitarbeiter im Planungsprozess. In: 57. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 265-268.
- Bokranz R, Landau K (2012) Handbuch Industrial Engineering: Produktivitätsmanagement mit MTM. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Bös G (2007) Strategisches Management alternder Belegschaften bei der AUDI AG. In: Holz M, Da-Cruz P (Hrsg) Demografischer Wandel in Unternehmen. Herausforderung für die strategische Personalplanung. Wiesbaden: Gabler Verlag, 199-212.
- Domschke W, Scholl A, Voß S (1997) Produktionsplanung - Ablauforganisatorische Aspekte. Berlin: Springer.
- Finsterbusch T, Mai HT, Kuhlmann P, Ostermeier M (2019) Internationaler Standard zur Produktbewertung - eHPU (engineered Hours Per Unit) auf Basis des MTM-Prozessbausteinsystems MTM-HWD. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Arbeit interdisziplinär – analysieren, bewerten, gestalten. Dortmund: GfA-Press, B.1.3.
- Foxlin E (2002) Motion Tracking Requirements and Technologies. In: Stanney KM (Hrsg) Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications. Mahwah, New Jersey: Laurence Erlbaum Associates, 163-210.
- Fritzsche L, Hölzel C, Spitzhörn M (2019) Weiterentwicklung der Kosten-Nutzen-Bewertung für Ergonomiemaßnahmen anhand von Praxisbeispielen der Automobilindustrie. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Arbeit interdisziplinär – analysieren, bewerten, gestalten. GfA-Press, A.7.2.
- Hacker W, Richter P (1980) Psychologische Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen. Ziele und Bewertungsmaßstäbe. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Hensel R (2011) Entwicklung einer Gestaltungssystematik für das Industrial Engineering (IE): unter besonderer Berücksichtigung kultureller Einflussfaktoren am Beispiel von Tschechien und Polen. Chemnitz: Universitätsverlag der Technischen Universität Chemnitz.
- Hensel R, Keil M (2018) Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 72: 252–263.
- Hensel R, Steinhilber B (2018) Bewertung von Exoskeletten für industrielle Arbeitsplätze: Mehrwert durch eine kombinierte Evaluation mittels Laboruntersuchung und Felderprobung. 3. Transdisziplinäre Konferenz der smart ASSIST, 11.-12. Dezember 2018; Hamburg. 107-115.
- Hensel R, Steinmetz M, Hausmanning L, Keil M, Benter M, Kuhlmann P (2019) Digitization of Ergonomic Planning and Design Processes - Results from the Validation Process of Motion Capture as Ergonomic Assessment Tool. In: D Dimitrov, D Hagedorn-Hansen, K Leipzig (Hrsg) Proceedings of 7<sup>th</sup> International Conference on Competitive Manufacturing (COMA). Stellenbosch: University of Stellenbosch, 418-424.
- Keil M, Hensel R, Spanner-Ulmer B (2010) Fähigkeitsgerechte Prozessmodellbausteine zur Generierung altersdifferenzierter Beanspruchungsprofile. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 03/2010:205-215.

- Kuhlang P (2018) Produktive und ergonomiegerechte Arbeit - Von Grundsätzlichem zur Prozesssprache MTM über die Ergonomiebewertung zu Human Work Design (MTM-HWD®). In: ifaa (Hrsg) Leistung und Entgelt, 02/2018. Düsseldorf: Joh. Heider Verlag, 6-46.
- Kunze T (2019, in press) Entwicklung und Evaluierung eines Grobscreenings zur Anwendung von EAWS-Sektion 4 in der Automobilindustrie. Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme.
- Mühlstedt J (2012) Entwicklung eines Modells dynamisch-muskulärer Arbeitsbeanspruchungen auf Basis digitaler Menschmodelle. Chemnitz: Universitätsverlag der Technischen Universität Chemnitz.
- Neubert N (2013) Return-on-Investment in der Arbeitswissenschaft: Qualitäts- und Produktivitätsverbesserungen durch ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. Technische Universität, Darmstadt
- Schaub K, Ghezel-Ahmadi K (2007) Vom AAWS zum EAWS – ein erweitertes Screening-Verfahren für körperliche Belastungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) 53. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 601-604.
- Schlick CM, Luczak H, Bruder R (2018) Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer.
- Schmauder M, Spanner-Ulmer B (2014) Ergonomie - Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation. München: Carl Hanser Verlag.
- Spanner-Ulmer B, Hensel R, Höhnel A (2011) Humanzentriertes Industrial Engineering im Wirkungsfeld zwischen Stabilität und Flexibilität. In: D Spath (Hrsg) Wissensarbeit - Zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum, 24. HAB-Forschungsseminar. Berlin: GITO-Verlag, 345-366.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

**ERKENNEN.LERNEN.VERÄNDERN**  
Die Arbeit des Menschen in der digital vernetzten Welt

Herbstkonferenz der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

MTM ASSOCIATION e. V.

12. und 13. September 2019

---

**GfA-Press**

---

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
vom 12. bis 13. September 2019, Böblingen**

**Deutsche MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2019  
ISBN 978-3-936804-26-3

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)