

Ergonomie 4.0 – Herausforderungen und Chancen der Industrie 4.0 für die Gestaltung menschengerechter Arbeitsplätze

Lars Fritzsche

imk automotive GmbH, Amselgrund 30, 09128 Chemnitz

Eine der großen Herausforderungen in der Industrie 4.0 ist die anforderungsgerechte Integration des Menschen. Es wird auch weiterhin Aufgaben in der Produktion geben, die seine hohe Flexibilität und manuelle Geschicklichkeit erfordern. Dabei kommen zunehmend neuartige technische Assistenzsysteme zum Einsatz, wie z.B. kollaborierende Roboter und Exoskelette. Diese sollen den Menschen im Fertigungsprozess optimal unterstützen. Dazu müssen sie möglichst ergonomisch gestaltet werden, um eine effiziente Mensch-Maschine-Interaktion sicherzustellen. Die menschengerechte Arbeitsgestaltung ist somit weiterhin von großer Bedeutsamkeit, auch wenn sich die Rolle des Menschen im Rahmen von Industrie 4.0 und der voranschreitenden Digitalisierung in der Fertigung verändert. Anhand von drei Beispielen wird aufgezeigt, wie dieses mit Hilfe von digitalen Menschmodellen und 3D-Simulation gelingen kann.

1. Einleitung

Die vierte industrielle Revolution („Industrie 4.0“) ist bereits seit einigen Jahren in vollem Gange und verändert auch die Arbeitswelt im produzierenden Gewerbe enorm. Neue smarte Technologien und deren immanente Vernetzung sollen die Fertigungsprozesse effizienter machen und ersetzen an einigen Stellen den Menschen. Doch der Automatisierungsgrad ist in vielen Bereichen immer noch überschaubar und die menschlichen Stärken wie Flexibilität, Geschicklichkeit und Problemlösefähigkeit sind immer noch gefragt. Daher ist es weiterhin erforderlich, Fertigungsprozesse anhand grundlegender Prinzipien menschengerechter Arbeit zu gestalten und frühzeitig eine ergonomische Interaktion zwischen Mensch und Technik sicherzustellen.

2. 3D-Simulation menschengerechter Arbeit

Bereits seit einigen Jahren kommen in der Planung und Gestaltung von Arbeitsplätzen sog. digitale Menschmodelle zum Einsatz. Sie ermöglichen die risikofreie Überprüfung eines geplanten Arbeitsprozesses hinsichtlich Ergonomie, Effizienz und Sicherheit anhand einer 3D-Simulation.

Die Software „ema Work Designer“, entwickelt von der imk automotive GmbH aus Chemnitz, beinhaltet ein autonom agierendes Menschmodell, mit dem auf Basis sog. Verrichtungsbausteine eine vollständige 3D-Ablaufsimulation in einer virtuellen Arbeitsumgebung erstellt werden kann (Leidholdt, Fritzsche & Bauer, 2016). Darüber hinaus ermöglicht die Software eine automatische Ermittlung von wesentlichen Kennzahlen der ergonomischen Belastung und Produktivität bzw. Fertigungszeit für manuelle Tätigkeiten. Sie kommt bereits in diversen Anwendungsfällen bei verschiedenen Kunden aus der Industrie und Wissenschaft zum Einsatz (Fritzsche, Ullmann, Bauer & Sylaja, 2019).

2.1. Beispiel 1: Partizipative Gestaltung von Arbeitssystemen mit kollaborierenden Robotern

Arbeitssysteme, in denen Mensch und Roboter kollaborativ miteinander interagieren (sog. MRK-Systeme), haben sich in der Praxis bisher kaum durchgesetzt. Eine gute Gestaltung erfordert nicht nur die Betrachtung von technischen und wirtschaftlichen Faktoren, sondern auch die Berücksichtigung der Nutzerperspektive. Das Projekt SOPHIA (“Socio-Physical Interaction Skills for Cooperative Human-Robot Systems in Agile Production“) hat zum Ziel, diese hybriden Arbeitssysteme weiterzuentwickeln, um die Produktivität, Flexibilität und Ergonomie in der Fertigung zu verbessern.

In einem ersten Anwendungsfall wurde ein Arbeitssystem in einem niederländischen KMU betrachtet, das Getriebe für verschiedene Industrieenanwendungen produziert. Mittels eines Quick-Checks

(<https://kompi.org/quickcheck/>) wurde zunächst ermittelt, für welchen Arbeitsplatz die größten Verbesserungspotentiale zu erwarten sind. Anschließend wurde eine 3D-Ablaufsimulation des aktuellen und künftigen Arbeitsprozesses erstellt. Anhand der Visualisierung wurde in einem iterativen Prozess zusammen mit Entwicklern und Betreibern des Systems das konkrete Zusammenwirken von Mensch und Roboter gestaltet (Abb. 1). Mittels der Simulation wurde u. a. sichergestellt, dass die Erreichbarkeit aller Teile gegeben ist und sicherheitskritische Abstände eingehalten werden können. Schließlich wurden die konkreten Verbesserungspotentiale des MRK-Systems hinsichtlich reduzierter Fertigungszeit und ergonomischer Belastung der Mitarbeiter ermittelt. Das Ergebnis wurde als Video veröffentlicht: <https://youtu.be/H-W0yy7LIA8>.



Abbildung 1: 3D-Modell des MRK-Arbeitssystems in SOPHIA

Um weitere Hinweise für die Systemgestaltung zu erhalten, wurde eine Befragung von Mitarbeitenden durchgeführt, die später in dem Arbeitssystem tätig sein werden. Hierbei kamen Ergebnisse der Simulation zum Einsatz, um den künftigen Nutzenden einen Eindruck des Systemkonzeptes zu vermitteln. Ziel dieser frühen Partizipation ist es, bereits während des Entwicklungsprozesses die Erwartungen an das robotische System zu erfassen und zu berücksichtigen (Fritzsche, Funk, Rosen, Spitzhahn & Wischniewski, 2021).

2.2. Beispiel 2: Biomechanische Bewertung der Wirksamkeit von Exoskeletten

In den letzten Jahren wurden von verschiedenen Herstellern Exoskelette für den industriellen Einsatz entwickelt und an den Markt gebracht. Sie können Mitarbeiter bei ergonomisch ungünstigen Arbeitsaufgaben wie Überkopftätigkeiten oder dem Heben schwerer Lasten unterstützen. In Labor- und Feldstudien wurde fortan versucht, die Wirksamkeit von Exoskeletten bezüglich der körperlichen Entlastung zu ermitteln (z.B. de Looze et al., 2016). Dabei gab es sehr unterschiedliche Ergebnisse und es konnten noch keine konkreten Effekte zur Prävention muskuloskeletaler Erkrankungen nachgewiesen werden (Steinhilber et al., 2020).

Biomechanische Simulationen mit Hilfe digitaler Menschmodelle können aufwendige Labor- und Feldstudien ergänzen und erweitern, indem sie auch die internen Kräfte und Gelenkmomente bei der Verwendung von Exoskeletten für eine Analyse zugänglich machen. Dafür kommt z.B. die Software AnyBody Modelling System (Damsgaard et al., 2006) in Frage, die für die Detailanalyse in Kombination mit dem ema Work Designer eingesetzt werden kann.

Im Rahmen des Projektes ANDY („Advancing Anticipatory Behaviors in Dyadic Human-Robot Collaboration“) wurde auf Basis einer umfangreichen Laborstudie (Maurice et al. 2020) eine Simulationsstudie mit der AnyBody Software durchgeführt. Dabei wurde das Exoskelett „Paexo Shoulder“ der Fa. Ottobock verwendet (Abb. 2). Erste Ergebnisse zeigen eine starke Reduktion der Belastungen im Schulterbereich, wo durch die Verwendung des Exoskeletts die Muskelaktivität und die Gelenkreaktionskräfte um bis zu 80 % reduziert werden konnten (Fritzsche, Spitzhahn & Gärtner, 2020). Gleichzeitig waren keine negativen Effekte im Bereich des Rückens und der

Lendenwirbelsäule zu erkennen. Das deutet darauf hin, dass die Kraftumleitung auf die unteren Extremitäten beim Paexo Shoulder sehr gut funktioniert.

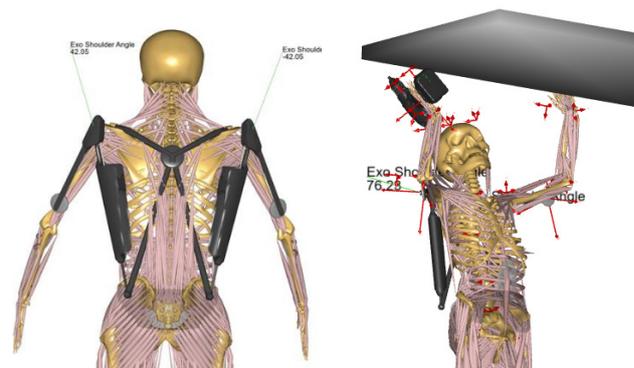


Abbildung 2: 3D-Modell des Exoskeletts „Paexo Shoulder“ in der Software AnyBody zur biomechanischen Detailanalyse

2.3. Beispiel 3: Fähigkeitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung und adäquater Mitarbeiterereinsatz

Die steigende Anzahl älterer und leistungsgewandelter Arbeitnehmer ist eine zunehmende Herausforderung für produzierende Unternehmen. Zudem werden diese ebenfalls vor der Herausforderung gestellt, sich an neue Technologien und Assistenzsysteme zu gewöhnen. Zur Sicherstellung eines wertschöpfenden und fähigkeitsgerechten Einsatzes können ebenfalls digitale Menschmodelle verwendet werden. Sie sind insbesondere in der frühen Phase der Prozessplanung und zur präventiven Absicherung ergonomisch günstiger Arbeitsplätze geeignet. Jedoch berücksichtigen die üblichen Menschmodelle bislang nicht die Besonderheiten älterer und möglicherweise körperlich eingeschränkter Mitarbeiter, sondern beschränken sich auf die Abbildung des „Norm-Menschen“.

Im Projekt „Virtual Aging“ wurde daher das ema-Menschmodell um altersunabhängige Leistungsveränderungen und individuelle Fähigkeitsvoraussetzungen ergänzt (Ullmann & Fritzsche, 2020). Beispielsweise lassen sich alterstypische Einschränkungen der Beweglichkeit festlegen und bei der virtuellen Arbeitsgestaltung berücksichtigen. Ebenfalls lassen sich Arbeitsplatzanforderungsprofile erzeugen und mit Mitarbeiterfähigkeitsprofilen vergleichen (Abb. 3). Die Methodik wurde bereits teilweise in die aktuelle Version des ema Work Designers integriert und in Praxisprojekten, vornehmlich in der Automobilindustrie, eingesetzt. Weitere Teile befinden sich im Prototypenstatus und werden in den kommenden Releases veröffentlicht.



Abbildung 3: Workflow zur Verwendung von Mitarbeiterfähigkeitsprofil und Arbeitsplatzanforderungsprofil im ema Work Designer

3. Schlussfolgerung

Die Herausforderungen durch die rasante Veränderung der „Industrie 4.0“ sind vielfältig. Oftmals stehen vor allem die technischen Lösungen im Mittelpunkt der Betrachtung. Aber der Mensch bleibt ein entscheidender Faktor für flexible und qualitativ hochwertige Produktionssysteme. Der Beitrag zeigt Beispiele, wie neue Methoden der 3D-Simulation genutzt werden können, um prospektiv Arbeitsplätze zu gestalten, die zugleich effizient und ergonomisch sind.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei vielen engagierten Mitarbeitern in seinem Team, die zu diesen Arbeiten einen signifikanten Beitrag geleistet haben, besonders Sascha Ullmann, Michael Spitzhirn und Christian Gärtner. Ebenso geht der Dank an die Projektpartner, besonders das Istituto Italiano di Tecnologia, AnyBody Tech. und Ottobock. Die Arbeiten wurden zum Teil finanziert durch Fördergelder der Europäischen Kommission im Programm Horizon 2020 (SOPHIA und ANDY) sowie durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm KMU Innovativ (Virtual Aging).

Literaturverzeichnis

- [1] W. Leidholdt, L. Fritzsche & S. Bauer (2016). Editor menschlicher Arbeit (ema) – Vom digitalen Menschmodell zum virtuellen Facharbeiter. In: A. C. Bullinger-Hoffmann and J. Mühlstedt (Hrsg.), Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle (pp. 355-362). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [2] L. Fritzsche, S. Ullmann, S. Bauer & V. J. Sylaja (2019). Task-based digital human simulation with Editor for Manual Work Activities – Industrial applications in product design and production planning. In: G. Paul and S. Scataglini (Eds.), DHM and Posturography (pp. 569-575). London, UK: Elsevier.
- [3] L. Fritzsche, M. Funk, P. Rosen, M. Spitzhirn & S. Wischniewski (2021). Simulation and participatory design of HRI work systems in the SOPHIA project. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Arbeit HUMAINE gestalten (Beitrag B.10.4). Dortmund: GfA-Press.
- [4] M. P. de Looze, T. Bosch, F. Krause, K. S. Stadler & L. W. O'Sullivan (2016). Exoskeletons for industrial

application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59, 671-681.

- [5] B. Steinhilber, T. Luger, P. Schwenkreis et al. (2020). Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen Beschwerden. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 74, 227-246.
- [6] M. Damsgaard, J. Rasmussen, S. Tørholm, E. Surma & M. de Zee (2006). Analysis of musculoskeletal systems in the AnyBody Modeling System. *Simulation Modeling Practice and Theory*, 14, 1100-1111.
- [7] P. Maurice, J. Camernik, D. Gorjan et al. (2020). Objective and Subjective Effects of a Passive Exoskeleton on Overhead Work. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28, 152-164.
- [8] L. Fritzsche, M. Spitzhirn & C. Gärtner (2020). Analyse von Exoskeletten mit biomechanischer Simulation. *ASU Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin*, 55, 470-473.
- [9] S. Ullmann & L. Fritzsche (2020). Entwicklung einer Methodik zur fähigkeitsgerechten Arbeitsgestaltung für leistungsgewandelte Mitarbeiter mit Hilfe digitaler Menschmodelle. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch? (Beitrag C.4.6). Dortmund: GfA-Press.