

Nutzerzentriertes, adaptierbares Arbeitsplatzsystem für die manuelle Montage von großen Bauteilen

Florian BEUß, Jan SENDER, Konrad JAGUSCH

*Fraunhofer-Einrichtung Großstrukturen in der Produktionstechnik
Albert-Einstein Straße 30, D-18059 Rostock*

Kurzfassung: Im Rahmen eines Verbundvorhabens im vom Bund geförderten Programm „IKT 2020 –Forschung für Innovationen“ werden im Schwerpunkt „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben“ die Anforderungen an einen innovativen alters- und altersgerechten Arbeitsplatz im demografischen Wandel untersucht. Diese werden in ein nutzerzentriertes, adaptierbares Arbeitsplatzsystem überführt. Untersuchungsgegenstand ist die manuelle Montage von großen Bauteilen in Kleinstserien- bis hin zur Unikatfertigung. Mittels intelligenten Kinematiken werden ergonomische Defizite in langzyklischen Montageprozessen produkt- und prozessabhängig minimiert. Gleichzeitig wird durch eine optimale Arbeitsposition die Produktivität gesteigert.

Schlüsselwörter: Demografischer Wandel, Ergonomieanalysen, Arbeitsplatzgestaltung, Produktivitätszuwachs

1. Einleitung

Die deutsche Industrie ist im Umbruch. Bedingt durch die Auswirkungen des demografischen Wandels steigt das Durchschnittsalter der Mitarbeiter stark an (Veen & Backes-Gellner, 2009; Reinhart et al. 2011). Diese Entwicklung führt dazu, dass das Produktionspotential deutscher Unternehmen abnimmt (Bofinger et al. 2011).

Durch diese Entwicklung sehen sich die Unternehmen gezwungen der alters- und altersgerechten Arbeitsplatzgestaltung mehr Bedeutung zu zuwenden (Meyer & Nyhuis 2012). So werden in ersten Unternehmen technische Lösungen erarbeitet, die eine altersbedingte, veränderte Leistungsfähigkeit der Beschäftigten berücksichtigt (Ilmarinen 2005), um so unternehmerische Zielfaktoren zu erreichen (Zahn & Dillerup 1994).

Gerade im Bereich der Kleinen und Mittleren Unternehmen (KMU) herrschen zukünftig manuelle bzw. hybride Montageprozesse vor, um die Anforderungen der steigenden, kundengetriebenen Variantenvielfalt, bei gleichzeitig kürzeren Produktionszeiten erfüllen zu können (Feldmann et al. 2004). Hieraus ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens und des Leistungspotentials seiner Mitarbeiter.

Besonders in der manuellen Montage von Bauteilen mit großen Abmessungen und Gesamtgewichten von bis zu 200 Kilogramm bestimmen die zu montierenden Bauteile die einzunehmenden Körperhaltungen und somit auch den Kraftfluss. Eine ungenügende Arbeitsplatzgestaltung gerade bei einem höheren Durchschnittsalter führt hierbei zu physischen Leistungswandlungen und begünstigt somit arbeitsinduzierte Muskelskeletterkrankungen (Dombrowski & Mielke 2012).

Daher besteht die Notwendigkeit der Entwicklung neuer und innovativer Arbeitsplatzsysteme, um nicht nur reaktiv, sondern darüber hinaus präventiv das Leistungspotential zu erhalten.

2. Methoden

Die hier beschriebenen Entwicklungen basieren auf detaillierten Prozess- und Ergonomieanalysen bei KMU aus dem Anlagen- und Sondermaschinenbau. Betrachtet werden Montageprozesse verschiedener variantenreicher Produkte. Die mittlere Montageprozessdauer beträgt 30 Minuten und wird im Folgenden als langzyklisch angenommen. Ferner existieren innerhalb der Montageprozesse nur wenige repetitive Tätigkeiten.

2.1 Analysen

Die untersuchten Montagetätigkeiten werden durch Serienaufnahmen eines Camcorders (Fa. GoPro Inc., USA) im Abstand von drei Sekunden aufgenommen. Die Auswertung erfolgt unter Beachtung der heterogenen Altersstruktur der Mitarbeiter sowie der Variantenvielfalt der zu betrachtenden Produkte. Anhand dieser Datenbasis werden verschiedene Analysen durchgeführt.

Zunächst sind mit Hilfe der MTM-UAS Methode prozessspezifische Planzeiten für die betrachteten Produkte ermittelt worden. Beispielhafte Teilprozesse wurden durch die MTM-1 Methode verfeinert.

Darüber hinaus wird die Ergonomie der beobachteten Mitarbeiter mittels der Methode Rapid Upper Limb Analysis (RULA) (McAtamney & Corlett 1993) manuell für jede Einzelaufnahme bewertet. Zur Objektivierung der Bewertung werden die Montageprozesse durch Einsatz der Simulationssoftware Delmia (Fa. Dassaults Systèmes, Frankreich) digitalisiert und durch das anthropometrisches Menschmodell Human Builder erneut bewertet. Die abgebildeten Bewegungen werden realitätsnah durch inverse Kinematiken erstellt. Zur Ergonomiebewertung dienen verschiedene Perzentilwerte (5., 50., 95.) einer deutschen Population ohne Einfluss des Alters.

Zwischen den manuellen und digitalen Ergonomiebewertungen traten keine signifikanten Unterschiede auf. Die Verteilung der RULA-Werte ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

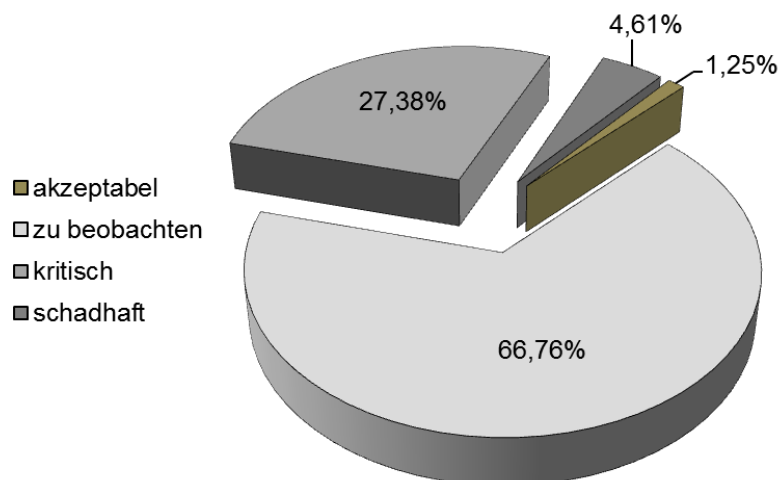


Abbildung 1: Verteilung der RULA-Werte der digitalisierten Montageprozesse der Ausgangssituation

2.2 Nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung

Die Anforderungen an einen alters- und altersgerechten Arbeitsplatz sind aus den umfangreichen Analyseergebnissen abgeleitet worden und in Abbildung 2 dargestellt.

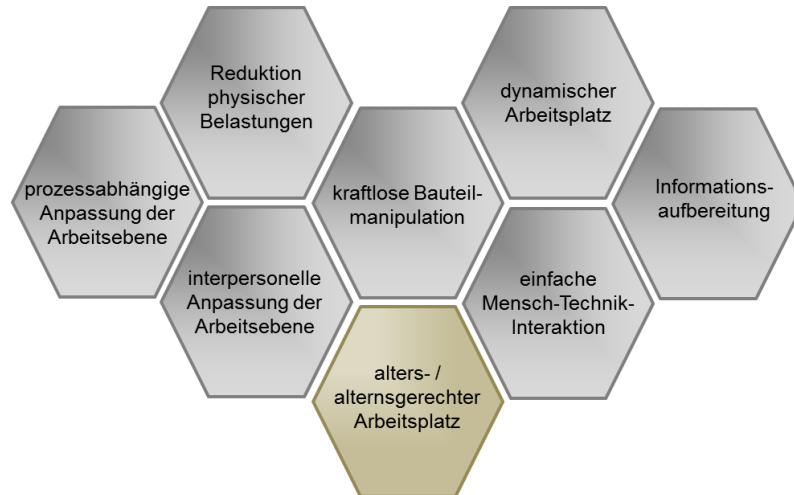


Abbildung 2: Anforderungen an einen alters- und altersgerechten Arbeitsplatz für die Montage größerer Bauteile

Besonders die Reduktion auftretender physischer Belastungen steht im Mittelpunkt der Arbeitsplatzgestaltung. Im Speziellen zählen hierzu die interpersonelle sowie prozessabhängige Anpassung der Arbeitsebene an die Mitarbeiter sowie die dem Montageprozess zugehörigen Bauteilpositionen. Eine schnelle, intuitive Bedienung des Arbeitsplatzes sowie ausreichende Stellmöglichkeiten für Werkzeuge und notwendige Kleinteile sind für den Benutzer von hoher Bedeutung. Darüber hinaus ist für die Montage kundenindividueller Produkte eine geeignete Visualisierung von Bauteilinformationen als Optimierungspotential identifiziert worden.

Unter Berücksichtigung der speziellen Montageaufgaben wurden die Anforderungen in ein Arbeitsplatzsystem überführt. Hierbei sind translatorische und rotatorische Antriebe mit Hilfe einer speicherprogrammierbaren Steuerung zu einer intelligenten Kinematik kombiniert worden. Die somit erreichte stufenlose Anpassung der Arbeitsebene an die individuellen Körpermaße des Nutzers sowie des Montageprozesses möglich. Ebenfalls ist eine einfache Verstellung von Steh- zu Sitzarbeitsplatz möglich. Eine ergonomisch optimale Arbeitsposition wird somit erreicht. Notwendige Bauteil- und Montageinformationen sind in Abhängigkeit des Wissensstandes der Mitarbeiter aufbereitet und werden auf verschiedenen Anzeigen visualisiert.

2.3 Bedienkonzept

Anhand der Simulationsergebnisse und der Gegenüberstellung des Ist- und Sollzustandes lassen sich die optimalen Positionen für jeden einzelnen Mitarbeiter im Vorhinein errechnen. Als Grundlage hierfür dienen die personenbezogenen Körpermaße sowie die erforderlichen Positionen des Bauteils. Das Arbeitsplatzsystem muss zudem über eine Sensorik verfügen, die in der Lage ist die jeweiligen Prozessschritte zu identifizieren. Eine manuelle Nach- bzw. Feinjustierung erfolgt

über eine Mensch-Maschinen-Schnittstelle. Diese kann ebenfalls genutzt werden, um die Prozessschritte händisch mitzuteilen.

Ein Open Platform Communication Unified Architecture (OPC UA)-Server dient als standardisierte Software-Schnittstelle zum Datenaustausch. Hierbei handelt es sich um ein Machine-to-Machine (M2M) Protokoll. Daher benötigt der Anwender Bedienelemente, um Daten über den OPC UA-Server an die jeweiligen Antriebe der adressierten Kinematik zu senden.

Mit Hilfe der Einbeziehung verschiedener Technologien wird ein breites Spektrum an herkömmlichen sowie neuartigen Bedienelementen innerhalb des Konzepts abgedeckt. Sind Fernbedienungen mit einfachen Drucktasten hinreichend aus der Industrie bekannt, können Smartphones, Smartwatches sowie Touchmonitore zur Maschinenbedienung als innovativ angesehen werden. Über grafische Benutzeroberflächen (GUI) auf den jeweiligen Endgeräten, ist der Nutzer in der Lage das Arbeitsplatzsystem auf seine Bedürfnisse anzupassen, sofern die Voreinstellungen bzw. die von einem Algorithmus errechneten Optimal-Positionen nachjustiert werden sollen.

In der folgenden Abbildung ist ein exemplarisches Interaktionskonzept dargestellt. Basierend auf der freien Wahl geeigneter Bedienelemente kann hier von einem allgemeingültigen Konzept ausgegangen werden, wobei die Endgeräte lediglich einen kleinen Auszug der Möglichkeiten darstellen.

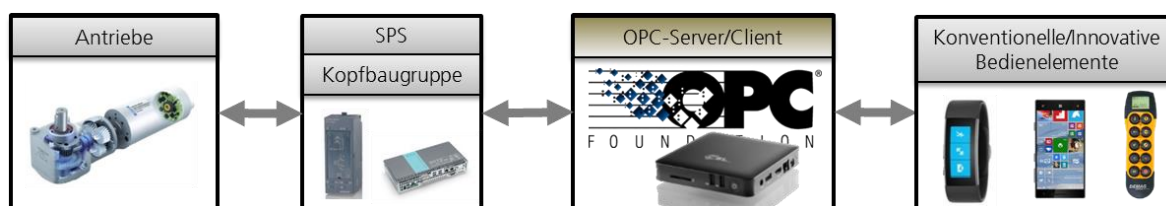


Abbildung 3: Architektur des Interaktionskonzepts zum Datenaustausch

Durch die Gestaltungsmöglichkeit eines heterogenen Bedienkonzepts werden interpersonelle Bedürfnisse der Mitarbeiter berücksichtigt. Der Einsatz innovativer Bedienelemente ermöglicht zudem eine Erweiterung der Funktionalitäten des Arbeitssystems. Endgeräte wie beispielsweise Smartphones können neben der Ansteuerung der Kinematik unter anderem für die Informationsbereitstellung und als Kommunikationsplattform genutzt werden. Wohingegen herkömmliche Bedienelemente meist nur einem Zweck dienen. Diese stoßen jedoch auf eine verbreitete Akzeptanz durch den gestiegenen Erfahrungsschatz im Umgang mit solcher Technologie

2.4 Mehrstufige Validierung

Die Anwendbarkeit des Arbeitsplatzsystems erfolgt durch eine mehrstufige Validierungskaskade

Zunächst werde die digital erstellten 3D-Modelle des Arbeitsplatzsystems mit dem anthropometrischen Menschmodell Human Builder auf die Ausführbarkeit der speziellen Montageprozess hin validiert. Zeitgleich wird eine digitale Ergonomiebewertung vorgenommen und mit den Ergebnissen der Ausgangssituation verglichen. Bei positiver Bewertung wird darüber hinaus das Arbeitsplatzsystem als virtuelles Mock-Up aufbereitet und durch Mitarbeiter der untersuchten KMU in einer

Virtual Reality Umgebung auf das Adaptionverhalten gegenüber individuellen Erreichbarkeiten und Sichtbarkeiten überprüft, aber auch individuellen A.

Nach positiver Validierung der digitalen und virtuellen Mock-Ups ist ein physischer Prototyp zu erstellen. Mittels diesem wird die Robustheit des Arbeitsplatzsystems in der Montageumgebung ermittelt. Ferner kann die reale Verbesserung der Mitarbeiterergonomie analysiert werden.

Dieser mehrstufige Ansatz ermöglicht eine investitionsschonende Produktentwicklung durch den Wegfall von physischen Prototypen und einer schnelleren Integration von Änderungen.

3. Ergebnisse

Die prozessabhängige Anpassung sowie die kraftlose Manipulation des Werkstücks führen zu einer drastischen Reduzierung nicht ergonomischer Bewegungen und vermeiden somit Zwangslagen und Fehlhaltungen der Mitarbeiter während des Montageprozesses.

Im Vergleich der digitalen Ergonomiebewertungen der Ausgangssituation und der neuen Sollsituation ist eine deutliche Verbesserung der analysierten Mitarbeiterbewegungen zu erkennen (siehe Abbildung 4).

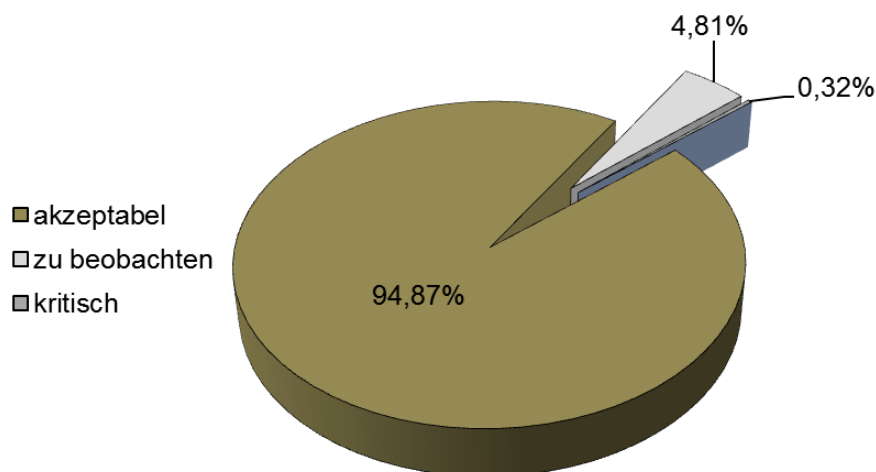


Abbildung 4: Verteilung der RULA-Werte der digitalisierten Montageprozesse unter zu Hilfenahme des entwickelten alters- und altersgerechten Arbeitsplatzsystems

Die ergonomisch optimale Arbeitsebene ermöglicht einen optimalen Bewegungsweg für den Mitarbeiter sodass nach erneuter MTM-Analyse eine Reduktion der prozessspezifischen Planzeiten um 20% möglich ist.

Darüber hinaus lag die Verringerung von nicht wertschöpfenden Prozessen im Fokus der Betrachtungen. Die Kombination aus optimalen Bewegungsabfolgen, einem gerichteten Materialfluss sowie die intuitiv bedienbare und wissensabhängige Informationsbereitstellung führen zur Verbesserung des Gesamtmontageprozesses

Das aus den Anforderungen abgeleitete Arbeitsplatzsystem ist umgesetzt und als Prototyp realisiert. Es ermöglicht die vollständige Übernahme der betrachteten Montageaufgaben auf einem nutzerzentrierten Arbeitsplatz.

4. Diskussion

Die dargestellte Entwicklung zeigt eine Möglichkeit eines zukünftigen alters- und altersgerechten Arbeitsplatz für die manuelle Montage größerer Bauteile auf. Hierbei legt die aufgezeigte Analysemethodik bewusst den Betrachtungsfokus auf die physische Komponente der Ergonomie, da sich altersabhängige Leistungswandlungen besonders in körperlichen Defiziten äußern. Ferner kann die Arbeitsplatzgestaltung nicht getrennt von der Arbeitsorganisation und im speziellen der Personaleinsatzplanung betrachtet werden. Der Einsatz der RULA Bewertungsmethode ist zum einen durch die schnelle Bewertungsmethodik, zum anderen auch durch die eingesetzte „Schnappschusstechnik“ der Ist-Analyse zur Untersuchung der Ergonomie von Vorteil.

Der Einsatz der intelligenten Kinematik ermöglicht eine schnelle und häufige Anpassung der Arbeitsebene. Verglichen mit aktuell erhältlichen Arbeitsplatzsystemen müssen mit den verwendeten Linear- und Rotationsantrieben keine antriebsabhängigen Einschaltdauern beachtet werden. Erst dadurch wird die ermittelte Ergonomieverbesserungen möglich.

Das theoretisch ermittelte Optimierungspotential bezüglich der Ergonomie sowie der Produktivität wird in aktuellen Anwendungstest bei den betrachteten KMUs analysiert. Es wird angenommen, dass die prozessabhängige Anpassung der Arbeitsebene sowie die generelle Möglichkeit einer individuellen Anpassung des Arbeitsplatzes an den Nutzer zu einer raschen Reduktion von arbeitsbedingten Fehlbelastungen führt.

5. Literatur

- Bofinger P, Feld L P, Franz W, Schmidt C M, Weder di Mauro B (2011) Herausforderungen des demografischen Wandels. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Statistisches Bundesamt, 9
- Dombrowski U, Mielke T (2012) Entwicklungspfade zur Lösung des Demografieproblems in Deutschland. In: Müller E (Hrsg) Demographischer Wandel – Herausforderung für die Arbeits- und Betriebsorganisation der Zukunft. Berlin GITO mbH Verlag, 57
- Feldmann K, Gergs H-J, Slama S, Wirth U (2004) Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen. Springer-Verlag Berlin. 202
- Ilmarinen J (2005) Towards a longer worklife! Ageing and the quality of worklife in the European Union. Finnish Institute of Occupational Health, Ministry of Social Affairs and Health
- McAtamney L, Corlett E N (1993) RULA: a survey method for investigation of work-related upper limb disorders. In: Applied Ergonomics. Jahrgang 24. Heft 2. 91-99
- Reinhart G, Glonegger M, Egbers J, Spillner R (2011) Montageorganisation in Zeiten des demografischen Wandels. Forum Junge Spitzenforscher und Mittelstand. 09.11.2011 Petersberg, 3-5
- Veen S, Backes-Gellner U (2009) Betriebliche Altersstrukturen und Produktivitätseffekte. In: Backes-Gellner U, Veen S (Hrsg.) Altern in Deutschland. Altern, Arbeit und Betrieb (Band 3): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, 29-64
- Zahn E, Dillerup P (1994) Fabrikstrategien und –strukturen im Wandel. In: Zülch G. (Hrsg) Vereinfachen und Verkleinern – Die neue Strategien in der Produktion. Stuttgart. Schäffer-Poeschel. 15-35

Danksagung: Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV6167 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation 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 Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de