

Gestaltungsstrategien für adaptive und ergonomische Arbeitsplätze bei cyber-physischen Montageprozessen

Matthias STEPPER, Timm RÖMER

*Institut für Arbeitswissenschaft IAD, TU Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

Kurzfassung: Der demographische Wandel, wie auch eine immer heterogenere Mitarbeiterzusammensetzung stellen die heutige Montagefertigung vor neue Herausforderungen. Eine zuverlässige Anpassbarkeit des Arbeitsplatzes an die menschlichen Leistungsvoraussetzungen stellt eine wirksame Möglichkeit dar, dem entgegenzuwirken. Industrie 4.0 birgt dank cyber-physischer Technologien das Potenzial dazu. Mit dem Ziel einer Integration von adaptiven Gestaltungsstrategien in den Planungs- und Umgestaltungsprozess von Montagearbeitsplätzen wurde ein anwendergerechtes Werkzeug entwickelt, das in diesem Beitrag vorgestellt wird. Die Erkenntnisse aus einer arbeitswissenschaftlichen Arbeitsplatzanalyse in verschiedenen Industrieunternehmen und einer Bewertung von Umsetzungsmöglichkeiten wurden ausgewertet und führten zu einem praxisorientierten Verfahren.

Schlüsselwörter: Industrie 4.0, Adaptivität, cyber-physisches System, Montagefertigung, Montagearbeitsplatz, demographischer Wandel

1. Einleitung

Montagearbeitsplätze werden heutzutage weitgehend nach ergonomischen Gestaltungsrichtlinien geplant. Durch Kostenvorgaben und mangelnde technische Implementierungsmöglichkeiten werden diese allerdings nur selten adaptiv, also anpassbar an den individuellen Arbeiter ausgelegt. Die cyber-physischen Technologien im Zuge von Industrie 4.0 bergen das Potenzial, dies beispielsweise mittels Einsatz intelligenter Sensorik und Aktorik zu ermöglichen. Hierdurch wird eine hochindividuelle Anpassung des Arbeitsplatzes an den Mitarbeiter und dessen Fähigkeiten denkbar. Diesem Aspekt wird durch die immer heterogenere Mitarbeiterzusammensetzung und entsprechenden Unterschieden in Körpermaßen und Kraftpotenzialen wachsende Bedeutung zukommen. Auch der demographischen Entwicklung kann so Rechnung getragen werden, da eine Überalterung der Belegschaft in der Produktion zu erwarten ist (DIHK 2010). Im Zuge dessen werden nach Langhoff (2009) sowie Laurig (1992) bestimmte für die Montage relevante Leistungsvoraussetzungen abnehmen und sich gleichzeitig deren Variabilität erhöhen (vgl. Abbildung 1).

Weiterhin sind langfristige Kostenvorteile durch Produktivitätssteigerung und Senkung der Krankheitsquote möglich (Manyika et al. 2015). Spath et al. (2013) zeigt ebenfalls die wachsende Bedeutung eines individual-ergonomischen Arbeitsplatzes: Zum einen für den Mitarbeiter, um Erkrankungen durch Überlastung vorzubeugen und zum anderen für das Unternehmen, um die Produktivität aufrecht zu erhalten.

Das Institut für Arbeitswissenschaft in Darmstadt beschäftigt sich als

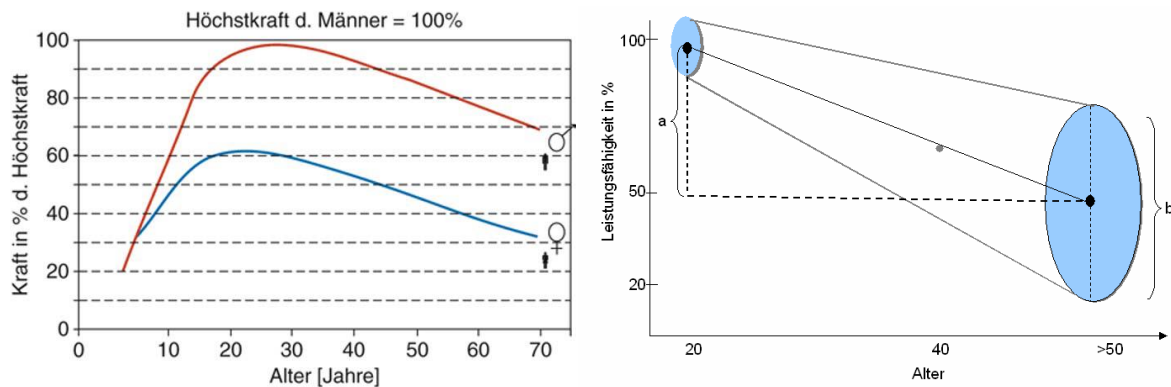


Abbildung 1: Links: Physiologische Leistungskurve (Brokmann 1969, zitiert nach Langhoff 2009, S. 33); Rechts: Zunahme der Leistungsvariabilität im Alter, a = Variabilität zwischen den Altersgruppen, b = Variabilität innerhalb der Gruppe der Älteren (Baltes 1986, zitiert nach Langhoff 2009, S. 36)

Projektpartner im Projekt SmartF-IT, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, mit diesem Themengebiet. Das Ziel der hier vorgestellten Forschungsarbeit bestand darin, Gestaltungsstrategien zu erarbeiten, um Arbeitsplätze an die jeweiligen Fähigkeiten und Anforderungen wechselnder Mitarbeiter anzupassen. Hier wird das Potenzial von vernetzten Prozessen bei cyber-physischen Systemen genutzt, indem für Ergonomie relevante Informationen zwischen Mensch und Arbeitsplatz ausgetauscht und bei Bedarf für eine automatisierte Adaptivität herangezogen werden (beispielsweise um die Höhe der Arbeitsfläche je nach Körpermaße des Mitarbeiters anzupassen).

Diese Strategien und Regeln wurden in einem Werkzeug umgesetzt, welches zur praxisorientierten Integration von adaptiven Lösungen im Planungs- und Umgestaltungsprozess von cyber-physischen Montagearbeitsplätzen dient. Als Anwender werden vor allem Fertigungsplaner und -verantwortliche von Montagearbeitsplätzen sowie Ergonomie-Beauftragte adressiert. Es unterstützt dabei, spezifische Anforderungen an einen Arbeitsplatz hinsichtlich der Adaptivität festzustellen, Konzepte beziehungsweise vorhandene Arbeitsplätze auf adaptive Gestaltungspotenziale hin zu analysieren und kontextgerechte Umsetzungsoptionen abzuwägen. Hierbei werden die jeweiligen Mitarbeiterfähigkeiten wie verschiedene Körpermaße, motorische Fähigkeiten oder Sinnesleistungen mit einbezogen.

Das mit der Open-Source-Software FreeMind umgesetzte und frei verfügbare Werkzeug basiert auf den Erkenntnissen von Arbeitsplatzanalysen, welche in zwei großen, produzierenden Unternehmen durchgeführt wurden. Dabei kamen anerkannte arbeitswissenschaftliche Methoden zur Anwendung und es erfolgte ein konstruktiver Austausch mit ausgewählten Experten aus den Bereichen Montage, Industrie 4.0 und Arbeitswissenschaft.

Die Diskussion behandelt die Rahmenbedingungen zur Anwendung des Adaptivitätswerkzeugs und zeigt Potenzial und Einschränkungen bei der Anwendung auf. Ein Ausblick zeigt, wie forschungsseitige Technologien mit dem Erreichen eines ausreichenden Reifegrads zu zukünftigen Gestaltungsmöglichkeiten beitragen.

2. Methodik

In der Evaluationsphase, bei welcher das Werkzeug stetig weiterentwickelt und getestet wurde, wurden diese Schritte eines mehrstufigen Vorgehens durchlaufen:

- Arbeitssystemanalyse bei zwei großen produzierenden Industrieunternehmen zur Erfassung der Leistungsvoraussetzungen der Mitarbeiter sowie der Gestaltungsparameter des Arbeitssystems
- Ableiten von Anforderungen an die Adaptivität
- Untersuchung von Umsetzungsoptionen
- Erstellung von Gestaltungsstrategien und Implementierung in das Werkzeug

Es kamen unterschiedliche arbeitswissenschaftliche Methoden zum Einsatz, welche nachfolgend erläutert werden. Davon wurde anschließend eine der Zielsetzung entsprechende Auswahl getroffen und im hier präsentierten Werkzeug umgesetzt.

2.1 Arbeitssystemanalyse

Bei zwei großen produzierenden Industrieunternehmen wurden fast 40 Arbeitsplätze als Bestandteile von Arbeitssystemen unterschiedlicher Technologie- und Automatisierungsstufen sowie aktuelle forschungsseitige Demonstratoren analysiert. Größtenteils standen Umgestaltungsmaßnahmen im Fokus, bei einem Arbeitsplatz wurde jedoch ein Neugestaltungsprozess angestoßen und die Planungsphase mitgestaltet. Unter Berücksichtigung der Leistungsvoraussetzungen der Mitarbeiter wurden Gestaltungsparameter der Montagesysteme identifiziert, welche sich für eine adaptive Umsetzung eignen. Die Analyse erfolgte unter Zuhilfenahme bekannter Verfahren wie AWS light (Kugler et al. 2010) und Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsplätze (BAuA 2012), sowie verschiedener frage- oder auswahlbasierter Analyseverfahren, welche sich wegen ihres kompakten Umfangs als zielführend zur zeiteffizienten Feststellung von Gestaltungspotentialen erwiesen haben. Eine hinreichend genaue Analyse aller relevanten Teilbereiche kann damit ohne ergonomisches Expertenwissen erfolgen. Zur Anwendung kamen Verfahren der gesetzlichen Unfallversicherungen von Deutschland und der Schweiz, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sowie verschiedener Berufsgenossenschaften. Zusätzlich wurden die in den Industrieunternehmen intern genutzten Analyseverfahren in die Betrachtung mit einbezogen.

Bei den Arbeitssystemanalysen wurden die Belastungskategorien Arbeitsform, Arbeitsschwere und Arbeitsbedingungen untersucht. Je Kategorie wurden Gestaltungsfelder im Detail betrachtet (Tabelle 1, weißer Hintergrund), wodurch spezifische Belastungsschwerpunkte festgestellt werden konnten, die sich für eine adaptive Gestaltung eignen. Außerdem wurden die relevanten Leistungsvoraussetzungen der eingesetzten Mitarbeiter festgestellt (Tabelle 1, grauer Hintergrund). Das Verfahren wurde in mehreren Schritten evaluiert und die Plausibilität der Analyseergebnisse nachgeprüft, indem sie mit Mitarbeiteraussagen sowie mit Ergebnissen interner Analyseverfahren verglichen wurden.

2.2 Ableiten von Anforderungen an Montagearbeitsplätze

Anschließend wurden konkrete Zielvorgaben für die Adaptivität jedes Gestaltungsfeldes definiert, welches durch die Arbeitsplatzanalyse als kritisch offengelegt wurde. Abgeleitet aus den Leistungsvoraussetzungen der Mitarbeiter werden dabei konkrete Wertebereiche festgelegt, die eine Umsetzungsmöglichkeit abzudecken im Stande sein sollte. Als Grundlage für die Anforderungsfestsetzung wurde eine Auswahl an arbeitswissenschaftlichen Werken herangezogen. Neben den bereits in der Arbeitssystemanalyse genannten Quellen wurden Normen verwendet, über die beispielsweise Lange et al. (2013) einen Überblick gibt.

Tabelle 1: Detaillierte Gestaltungsfelder je Belastungskategorie.

Belastungs-kategorie	Gestaltungsfelder im Detail (weiß)				
	Relevante Leistungsvoraussetzungen – Auswahl (grau)				
Arbeitsform	Arbeits-haltung allgemein	Arbeits-haltung Sitzarbeitspl.	Bewegungs-freiheit	Greifbereich	Sicht-bereich
	Körpergröße und -bau	Länge untere Gliedmaßen	Länge obere Gliedmaßen	Beweglich-keit obere Gliedmaßen	Sicht-geometrie
Arbeits-schwere	Hohe Lasten und Aktionskräfte		Repetitive Bewegungs-abläufe	Handgelenk und Handgriffe	
	Muskelkraft + körperliche Leistungsfähigkeit		Muskelkraft + Reaktions-geschwindigkeit	Beweglichkeit der Gliedmaßen	
Arbeitsbe-dingungen	Arbeitsaufgabe: Komplexität, Feinarbeit, Beleuchtung		Umgebungsfaktoren: Lärm, Klima	Sonstiges: Schutzausrüstung, Ergonomie-Beachtung, Reizfülle	
	Konzentrations- und Merkfähigkeit, Feinmotorik, Sehqualität		Lärm- und Klima-empfindlichkeit	Gefahren-Bewusstsein, Ergonomie-Wissen, Reizempfindlichkeit	

2.3 Untersuchung von Umsetzungsoptionen

Mittels Recherchen und Expertengesprächen wurden technische wie organisatorische Konzepte zur Umsetzung erarbeitet und bewertet, um anforderungsgerechte Implementierungsempfehlungen mit hoher Mitarbeiterakzeptanz sowie Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit zu erhalten. Die Konzepte beinhalten Elemente zur Erfassung der Merkmale des Mitarbeiters sowie zur Adaptivitätsgestaltung. Hierbei wird zwischen drei Varianten unterschieden: (1) ohne Anpassbarkeit für jeden Mitarbeiter geeignet, (2) manuelle oder teilautomatisierte Anpassbarkeit, (3) automatisierte Anpassung.

2.4 Erstellung von Gestaltungsstrategien

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Evaluationsphase wurden genutzt, um ein Werkzeug zur Anwendung von Gestaltungsstrategien zu entwerfen. Von den beschriebenen angewandten Methoden wurden jene ausgewählt, welche sich als besonders geeignet erwiesen und zu einem praxisorientierten Verfahren zusammengestellt.

3. Ergebnisse

Das erstellte Werkzeug kann zur Implementierung von Adaptivität sowohl bei Planung als auch Umgestaltung von Montagearbeitsplätzen eingesetzt werden. In Anlehnung an den Ablauf des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses (vgl. DIN EN ISO 9241-210, 2011) werden bei der Anwendung des Werkzeugs vier Elemente bei Bedarf iterativ durchlaufen (vgl. Abbildung 2).

und Produktivität sowie der Gesundheit geleistet. Jedoch gibt es Grenzen bei der Anwendung des Werkzeugs. Einige Montageaufgaben sind schlicht nicht dazu geeignet, dass ein Großteil der Belegschaft trotz individueller Einschränkungen dort arbeiten kann. Dies ist in der Tatsache begründet, dass für manch schwere oder komplexe Aufgaben keine geeigneten adaptiven Gestaltungsmaßnahmen existieren oder die Kosten nicht vertretbar wären. In solchen Fällen bleibt oft nur der Weg, einen geeigneten Mitarbeiter für die Arbeitsaufgabe auszuwählen, und einer zu hohen Belastung gegebenenfalls mit organisatorischen Maßnahmen (wie einem Rotationsprinzip oder Ausgleichsübungen) entgegenzuwirken. In den meisten anderen Fällen jedoch ist eine adaptive Arbeitsplatzgestaltung zur Berücksichtigung der individuellen Mitarbeiterfähigkeiten sinnvoll und nötig, um den Herausforderungen des demografischen Wandels in der Arbeitswelt adäquat begegnen und die Gesundheit und Leistungsfähigkeit bis ins hohe Alter erhalten zu können.

5. Ausblick

Bei der Entwicklung des Werkzeugs wurden in der Evaluationsphase eine Vielzahl von Arbeitsplatzanalysen sowie eine Neuplanung durchgeführt. Allerdings steht eine umfangreiche Evaluation und Validierung noch aus. Dies würde die Qualität und Zuverlässigkeit des Werkzeugs weiter erhöhen. Ferner sollte mit Blick auf die sich beschleunigende Verbreitung von Industrie 4.0 und neuartigen Technologien die Aktualität der Umsetzungsmöglichkeiten in festen Intervallen von wenigen Jahren überprüft sowie mit dem Erreichen eines ausreichenden Reifegrades weitere in die Auswahl einbezogen werden.

6. Literatur

- Baltes MM, Baltes PB (1986): The Psychology of Control and Aging. New York: Psychology Press.
- BAuA, Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2012): Leitmerkalmethode zu Heben, Halten, Tragen. Im Internet verfügbar unter: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefahrungsbeurteilung.html>, zuletzt abgerufen am 06.12.2015.
- Brokmann W (1969): Der altersadäquate Arbeitseinsatz. Berlin: Diss.
- DIHK, Deutscher Industrie- u. Handelskammertag (2010): Arbeitsmarkt und Demografie. Berlin: DIHK.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (2011): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion, Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstaugl. interakt. Systeme. EN ISO 9241-210:2010. Berlin: Beuth.
- Kugler M, Bierwirth M, Schaub K, Sinn-Behrendt A, Feith A, Ghezal-Ahmadi K, Bruder R (2010): KoBRA - Ergonomie in der Industrie - aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements. Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Lange W, Windel A (2013): Kleine Ergonomische Datensammlung. Köln: TÜV Media GmbH.
- Langhoff T (2009): Den demographischen Wandel im Unternehmen erfolgreich gestalten. Berlin: Springer Verlag.
- Laurig W (1992): Grundzüge der Ergonomie. Berlin: Beuth Verlag.
- Manyika J, Chui M, Bisson P, Woetzel J, Dobbs R, Bughin J, Aharon D (2015): The Internet of Things: Mapping the Value beyond the Hype. San Francisco: McKinsey Global Institute.
- Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T, Schlund S (2013) Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Fabian Borowski (Industrie 4.0 Experte, Bosch Rexroth Homburg) für die umfängliche Unterstützung dieser Arbeit. Ein weiterer Dank gilt Frau Dr. med. Angela Schrey (Fachärztin für Arbeitsmedizin, WIKA Klingenberg) für die bereitwillige Unterstützung.