

## **Humanorientierte Beurteilungskriterien zur Implementation informatorischer Assistenzsysteme in der manuellen Montage**

Manfred BORNEWASSER, Dominic BLÄSING

*Institut für Psychologie, Universität Greifswald  
Franz-Mehring-Straße 47, D-17487 Greifswald*

**Kurzfassung:** Montagesysteme sind Arbeitssysteme, in denen ein oder mehrere Beschäftigte mittels Arbeits- und Betriebsmittel auf Basis der Informationen des Arbeitsauftrages Montageobjekte (Produkte) aus Komponenten und/ oder Baugruppen zusammenbauen. Angesichts zunehmender Variantenvielfalt verändert sich die manuelle Montage, sie wird informatorisch komplexer, ist mit mehr Unsicherheit verbunden und mental stärker beanspruchend. Als Folge dieser Entwicklung werden höhere Kosten, Gesundheits- und Produktivitätseinbußen befürchtet. Diesen auch empirisch aufgezeigten Folgen kann durch ergonomisch gut gestaltete informatorische Assistenzsysteme entgegengewirkt werden. Es werden verschiedene, aus der Arbeitspsychologie und den Arbeitswissenschaften abgeleitete Gestaltungsempfehlungen für informatorische Assistenzsysteme erörtert.

**Schlüsselwörter:** Montage, Assistenzsystem, Variantenvielfalt, Komplexität, mentale Beanspruchung, automatisierte Anpassung

### **1. Variantenvielfalt, Komplexität und mentale Beanspruchung prägen moderne Montage**

Montage wird variantenreicher, damit informationshaltiger und komplexer sowie hinsichtlich der Rezeption und Verarbeitung anspruchsvoller im Sinne höherer mentaler Beanspruchung oder Workload. Mit zunehmender Komplexität wächst die mentale Beanspruchung. So belegen zahlreiche empirische Studien, dass eine Zunahme an Workload sich negativ auf Arbeitsergebnisse und Arbeitsproduktivität auswirkt (Ma et al. 2012; Hoover et al. 2012). Vergleichbar belegen experimentelle Laboruntersuchungen, dass zunehmende Komplexität nicht nur mit erhöhter mentaler Beanspruchung einhergeht (Stork & Schübo 2010), sondern auch gesundheitliche Einbußen zur Folge haben kann.

Zhu et al. (2008) beschreiben den komplexen Prozess der Montagetätigkeit als eine Abfolge von verschiedenen Auswahlprozessen auf einer Zeitachse, in denen Beschäftigte bis hin zum Abschluss der Montage stets Entscheidungen zwischen verfügbaren Alternativen z.B. von Varianten, Teilen oder Werkzeugen zu treffen haben. Der Montageprozess wird bei ihnen dadurch als „choice process“ konzipiert und die Komplexität des Prozesses als „operator choice complexity (OCC)“ definiert und über Entropiemaße bestimmt. Dabei beschreibt die Entropie das Ausmaß des erwarteten Informationsgehalts einer Menge von disjunkten Ereignissen und als objektive Unsicherheit vor dem Eintreten des nächsten Montageauftrags oder -schritts interpretiert. Generell wird angenommen, dass für die traditionelle Montage

typische sensumotorische Routinen und Automatismen zugunsten vermehrter Abwäge- und Entscheidungsprozesse aufgegeben werden müssen, was bei zunehmender Unsicherheit infolge sequenzieller Auswahlentscheidungen zu Verzögerungen auf der Zeitachse, Fehlgriffen hinsichtlich von Teilen und Werkzeugen oder Fehlern bei der Fixierung am jeweiligen Zwischen- oder Endprodukt der Montagetätigkeit führt. Dabei ist auch zu beachten, dass mentale Muster aktiv durchbrochen und sog. kognitive Automatismen zurückgedrängt werden müssen (Stork & Schübo 2010). In diesem Sinne wird es zeitraubend und auch fehleranfällig sein, z.B. LKW-Rahmen zum Aufsatz von Koffern aus unterschiedlich langen Trägern mit unterschiedlichen Ausrichtungen und unterschiedlich gestalteten Schraubsystemen montieren zu lassen, weil je nach Auftrag bei jedem Rahmen immer wieder andere Auswahlentscheidungen zwischen Trägern und Farben oder gar Kombinationen zu treffen sind, die dann möglicherweise zusätzlich noch mit spezifischen Werkzeugen und unterschiedlichen Drehmomenten verknüpft sind. Je mehr solcher Entscheidungen zu treffen sind, desto größer ist die objektive Unsicherheit, desto höher die mentale Beanspruchung und desto mehr Zeit bis zum jeweils nächsten Montageschritt wird benötigt.

Was in der Praxis mehr Zeit benötigt, gilt oftmals als schwierig. In dem Sinne wird das Entropiemaß der Unsicherheit häufig auch in Richtung auf die Schwierigkeit der Ausführung einer Montagetätigkeit interpretiert (Samy & ElMaraghy 2010). Eine schwierige Montagetätigkeit wird dabei erneut mit einem höheren Maß an mentaler Leistung z.B. im Sinne von Konzentration oder Wachsamkeit und damit auch Beanspruchung geknüpft. Empirische Befunde der Autoren bestätigen diese Annahme: Schwierig auszuführende Tätigkeiten erfordern mehr kognitive Leistung, brauchen mehr Zeit, führen zu mehr Fehlern und bewirken stärkere Verluste an Arbeitsproduktivität. Unterstützung finden diese Überlegungen auch in einem Phasenmodell zur informatorischen Gestaltung von manuellen Montageprozessen von Wiedenmaier (2004). Danach sind bei zunehmender Komplexität seitens des Beschäftigten mehr Informationen aus verschiedensten Kanälen mental zu erfassen und interpretierend zu verarbeiten, Sensorik und Motorik verstärkt zu koordinieren und ein erheblich höheres Maß an Tätigkeitskontrolle durchzuführen.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen können bereits in der Montageplanung viele sog. Komplexitätstreiber identifiziert werden, die die Montagetätigkeit erschweren, Unsicherheit erzeugen und dadurch zusätzlichen Zeitaufwand, mehr Fehler und geringere Produktivität bewirken. Eine umfassende Übersicht über Komplexitätstreiber liefern Schuh et al. (2015). Sie unterscheiden fünf Klassen von Komplexitätstreibern (Produkt, Prozess, Netzwerk, Organisation, Personal), denen elf differenzierende Dimensionen und 26 konkrete Treiber zugeordnet sind. Ausführliche Erörterung findet dabei auch der Komplexitätstreiber „Person“. Er wird vornehmlich über interne Ressourcenmerkmale wie unzureichende Qualifikation, mangelnde Motivation und geringe Kooperationsbereitschaft operationalisiert, wobei anzunehmen ist, dass der kognitive Aufwand für einen wenig qualifizierten und motivierten Mitarbeiter zunimmt. In Sender-Empfänger-Beziehungen ist also nicht einseitig die Technik ein entscheidender Komplexitätstreiber, sondern die Interaktion von externen Anforderungen und internen Ressourcen, also etwa die unzureichende Einstellung des Anwenders, die es erschwert, technische Möglichkeiten effektiv zu nutzen. Wenn die personalen Ressourcen unzureichend ausgeprägt sind, entstehen erhöhte mentale Beanspruchungen, die sich ungünstig auf Arbeitsmotivation und Arbeitsleistung auswirken (Bornewasser & Wegge 2018). So können starke Verunsicherungen auf Dauer in Versagensängste umschlagen oder in lange Prozesse des Abwägens, Nachfragens

und Absicherns einmünden, was dann zu ungünstigen Verteilzeiten und damit zu mangelnder Arbeitsproduktivität beiträgt.

## **2. Informatrische Assistenzsysteme können mentale Beanspruchungen reduzieren**

In manuellen Montagesystemen wird zumeist über technische Mittel Information im Sinne von externen Anforderungen und damit potenziellen Belastungen an Beschäftigte vermittelt, die diese dann mental verarbeiten und in Montagetätigkeiten umsetzen müssen, um die Arbeitsaufgabe erfüllen zu können. Die Mehrproduktmontage zeichnet sich dabei durch ein höheres Aufkommen an belastender Information und folglich eine stärkere Beanspruchung aus. Dabei darf das Konzept des Informationsaufkommens aber nicht eindimensional als ein quantitatives Mehr, sondern als ein qualitativ Anspruchsvolleres begriffen werden, wodurch die mentale Beanspruchung auch in neuartige Dimensionen übergeht (z.B. Wahrnehmung von Mustern oder Netzwerken, Erkennen von Interdependenzen).

Aus arbeitspsychologischer Sicht werden hier Belastungen als externe Stimuli und Beanspruchungen als interne organismische Reaktionen verstanden, die dann über einen weiteren internen Prozess zu einer gerichteten Arbeitstätigkeit führen (DIN 10075-1: 2018). Aus Sicht der Stressforschung ist insbesondere der Zusammenhang von externen Belastungen und der organismischen Reaktion von Relevanz, der als ein prozessuales, vernetztes Geschehen unter Einbeziehung von kognitiven, emotionalen und physiologischen Komponenten zu verstehen ist. Ansätze zur Beschreibung dieses vernetzten Geschehens liefern etwa Liu (1996) mit seinen „queueing networks of elementary mental processes“, die quasi ein Modell für das Entstehen unterschiedlich langer Reaktionszeiten bilden, oder auch Thayer et al. (2009), die ein Modell zur neuroviszeralen Integration kortikaler und physiologischer Komponenten des Autonomen Nervensystems (parasympathische Suppression und sympathische Aktivierung) liefern. Objektiv gemessen werden dabei im ersten Fall Zeiten, im zweiten Fall z.B. die Herzschlagaktivität. Zunehmende Reaktionszeiten werden dabei als Indikator für komplexere Verarbeitungsprozesse, abnehmende Herzfrequenzvariabilitäten als Hinweis auf zunehmende mentale Beanspruchung interpretiert. Offen bleibt bei Beanspruchungsanalysen zumeist, was als normale Oszillation (Baselinemessung) und was als eine grenzüberschreitende Steigerung, was als eine vorübergehende und was als eine stabile Grenzüberschreitung und was als konkreter Auslöser mentaler Beanspruchung und was als Folge von begleitenden Bewegungen (Bewegungsartefakte) anzusehen ist. Die Definition eines physiologischen Zustandes und die „real-time detection of workload changes“ von normaler hin zu bedrohlicher Beanspruchung stellen gravierende Herausforderung für jede Stressforschung auf der Basis objektiver Indikatoren dar (Hoover et al. 2012).

In den letzten Jahren zeigt sich zwar eine Tendenz, objektive physiologische Indikatoren nicht nur als Ausdruck mentaler Beanspruchung zu interpretieren, sondern sie an eine automatisierte Anpassung der Arbeitsbedingungen zu nutzen, um eine weitgehend konstante Beanspruchung innerhalb definierter Grenzen aufrechtzuerhalten. Bis dahin ist es allerdings noch ein weiter Weg. Als Vorstufe zu einer automatisierten Anpassung könnte der Einsatz von informatrischen Assistenzsystemen gelten. Hohe Anforderungen an die Informationsverarbeitung, die die gegebenen Ressourcen der Informationsverarbeitung stark beanspruchen oder gar übersteigen,

können durch eine geeignete technische Unterstützung reduziert werden. Durch ein verbessertes, arbeitsplatzbezogenes Informationsmanagement soll damit einer Zunahme an mentaler Beanspruchung und einer Abnahme an Arbeitsproduktivität entgegen gewirkt werden. Daher steht jedes betroffene Unternehmen zum ersten vor der Herausforderung, die der Montagetätigkeit zugrunde liegenden informatorischen Prozesse mittels kognitiv ergonomischer Analysen zu erfassen und zu verbessern (Radüntz et al. 2014). Zum zweiten – und hier liegt aktuell der Schwerpunkt – sind Ansatzpunkte für den Einsatz geeigneter und auf den personellen Bedarf zugeschnittener informatorischer Montageassistenzsysteme aufzuzeigen, von denen anzunehmen ist, dass sie einerseits die mentale Beanspruchung der Beschäftigten reduzieren und dadurch andererseits die individuelle Arbeitsproduktivität steigern. Es wäre ein Fehler anzunehmen, dass jedes informatorische Assistenzsystem unabhängig von der Ressourcenausstattung der Beschäftigte zu mentaler Entlastung beiträgt.

### **3. Gestaltungsempfehlungen für den humanorientierten Einsatz von informatorischen Assistenzsystemen**

Um die mentalen Beanspruchungen zu reduzieren, können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden (Bornewasser et al. 2018):

- erstens (konventionell) fehlende Kompetenzen der Beschäftigten im Umgang mit der arbeitssystemspezifischen Komplexität können entwickelt werden,
- zweitens (technisch) kann der Einsatz mentaler Ressourcen und der Verarbeitungsaufwand für die Beschäftigten durch ein benutzerzentriert gestaltetes Assistenzsystem reduziert werden,
- drittens (vernetzt) sollte das Assistenzsystem in bestehende technische Systeme integriert werden, um Medienbrüche zu vermeiden und nicht unnötige, zusätzliche Belastungen für die Beschäftigten zu erzeugen.

Der Einsatz von informatorischen Assistenzsystemen kann somit als moderierende Variable wirken. Positiv formuliert können Assistenzsysteme Sicherheit und Vertrauen vermitteln und die Performanz und Erfahrungsbildung unterstützen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Assistenzsysteme benutzerzentriert und kontextsensitiv gestaltet sind, indem sich die Systeme über eine Benutzerverwaltung individuell konfigurieren lassen bzw. eine multimodale Interaktion unterstützen und Informationen anforderungsgerecht – z.B. unter Berücksichtigung des Übungsgrades – darstellen.

So ist es z.B. unter Einsatz von AR-Brillen möglich, dass der Beschäftigte durch Gesten oder ein akustisches Signal („Weiter“) selbst die Geschwindigkeit der Informationspräsentation steuert. Auf vergleichbare Art kann er sich auch zusätzliche Information in einem markierten Bild oder gar in einem kurzen Video einspielen lassen, wenn eine Variante wenig vertraute Montagemethoden erforderlich macht oder die Ausführung als besonders fehleranfällig und damit qualitätskritisch gilt. Umgekehrt kann ein erfahrener Beschäftigter bei einzelnen Varianten gänzlich auf eine Unterstützung verzichten (das unterstützt Befunde von Fast-Berglund et al. 2013, wonach in 60% der Fälle auf Unterstützung durch Assistenzsysteme verzichtet und allein auf der Basis von Erfahrung montiert wurde). Die individuelle Konfiguration kann dann manuell in der Benutzerverwaltung der Software vorgenommen oder automatisch erfolgen, sie kann aber auch je nach Lernfortschritt oder aktuellem Be-

finden ad hoc vom Beschäftigten selbst erledigt werden.

Damit ergeben sich mit Blick auf die Gestaltung von informatorischen Assistenzsystemen fünf zentrale Empfehlungen:

- Zum ersten sollte beachtet werden, dass Assistenzsysteme nur dann sinnvoll sind, wenn hinreichend detaillierte Kenntnisse über die zugrunde liegenden Prozessstrukturen gegeben sind. Ohne Wissen um die exakten Details kann ein solches System nicht adäquat programmiert werden.
- Zum zweiten sind Assistenzsysteme nur dort erforderlich, wo gleichzeitig hohe Anforderungen an die Produktqualität gegeben, große Informationsmengen zu verarbeiten und viele Auswahlentscheidungen zu treffen sind. So wie etwa in der Kommissionierung eines Großlogistikers viele Artikel in meist immer wieder einmaliger Konstellation zusammenzustellen sind, sollten auch bei der Montage viele Teile in immer wieder verschiedenen Konstellationen zusammengefügt werden müssen.
- Drittens sollte das Assistenzsystem auf die jeweiligen Kompetenzen der Beschäftigten abzustimmen sein. Verfügt der Beschäftigte über alle erforderlichen Kompetenzen, so ist die Funktionalität der Assistenz ohnehin in Frage gestellt. Werden dennoch Assistenzsysteme vorgehalten, erfüllen sie ihren intendierten Zweck nicht, finden keine Akzeptanz und werden sogar zu Störfaktoren. Wenn aber trotz hoher Kompetenz eine hohe mentale Beanspruchung vorliegt, die mit wiederkehrenden Fehlern und Qualitätseinbußen einhergeht, so erscheint die Einführung eines Assistenzsystems auch aus Sicht der Beschäftigten als hilfreich und nützlich.
- Das System sollte viertens konfigurierbar sein, d.h. der Beschäftigte sollte unter Beachtung z.B. betrieblicher Terminziele weitgehend selbst darüber entscheiden können, in welchem Umfang er das Assistenzsystem nutzt. Der Mensch steuert das Assistenzsystem und nicht umgekehrt. Dabei ist zu bedenken, dass jedes Assistenzsystem durch Erfahrungsbildung an Funktionalität verliert und der Grad der routinemäßigen Abspulung von mentalen Funktionen zunimmt. Dieser Effekt der Gewohnheitsbildung wird teilweise konterkariert, wenn in immer kürzeren Abfolgen Neuprodukte eingeführt oder Produkt- bzw. Stücklistenänderungen vorgenommen werden. Es sollte jedem Beschäftigten die Möglichkeit eingeräumt werden, das Assistenzsystem nach eigenen Bedürfnissen zu konfigurieren.
- Eine letzte fünfte Empfehlung betrifft die organisatorische Gestaltung von informatorischen Assistenzsystemen. Assistenzsysteme dürfen nicht zur Belastung werden. Deshalb sollte darauf geachtet werden, dass Assistenzsysteme in die bestehende IT-Infrastruktur integriert werden. Ferner ist zu bedenken, dass jedes Assistenzsystem auch selbst wieder einen zusätzlich zu bearbeitenden Informationskanal und weitere Koordination von manueller und informatorischer Tätigkeit erfordert. Von daher sollen Assistenzsysteme die Arbeitsabläufe nicht stören oder gar zu Ablenkungen und Unterbrechungen führen (Parasuraman 2011).

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht können informatorische Assistenzsysteme die zunehmend komplexer werdende Montagetätigkeit bei Beachtung der aufgezeigten Bedingungen hilfreich unterstützen, sofern sie variabel auf die subjektiven Ressourcen der Beschäftigten abgestimmt sind. Damit können informatorische Assistenzsysteme im Sinne der klassischen Ansätze zur Arbeitsplatzgestaltung durchaus einen

#### 4. Literatur

- Bornewasser M, Wegge J (2018) Moderne Stressdiagnostik am Arbeitsplatz – theoretische und methodische Fortschritte. *Wirtschaftspsychologie* 20 (1): 3-11.
- Bornewasser, M, Bläsing, D & Hinrichsen S (2018) Informatrische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72: 264-275.
- DIN EN ISO 10075-1:2018 (2018) Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Berlin Beuth.
- Fast-Berglund A, Fässberg T (...) Stahre J (2013) Relations between complexity, quality, and cognitive automation in mixed-model-assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 32: 449-455.
- Hoover A, Singh A, Fishel-Brown S, Muth E (2012) Real-time detection of workload changes using heart rate variability. *Biomedical Signal Processing and Control*, 7: 333-341.
- Liu, Y (1996) Queueing network modeling of elementary mental process. *Psychological review*, 103: 116-136.
- Ma QG, Shang Q, Fu HJ, Chen FZ (2012). Mental workload analysis during the production process: EEG and GSR activity. *Applied Mechanics and Materials*, 220-223: 193-197.
- Parasuraman R (2011) Neuroergonomics: Brain, cognition, and performance at work. *Current Directions in Psychological Science*, 20: 181-186
- Radüntz T, Freude G. (...) Wille M. (2014) Kognitive Ergonomie – Erfassung des mentalen Zustands. Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 671-673.
- Samy SN, ElMaraghy H (2010) A model for measuring products assembly complexity. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 23 (11): 1015-1027.
- Schuh G, Gartzten T, Wagner J (2015) Complexity-oriented ramp-up of assembly systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 10: 1-15.
- Stork S, Schübo A (2010) Human cognition in manual assembly: Theories and applications. *Advanced Engineering Informatics*, 24: 320-328.
- Thayer, JF, Hansen, AL (...) Johnson, BH (2009) Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaption, and health. *Annual Behavioral Medicine*, 37: 141-153.
- Wiedenmaier S (2004) Unterstützung manueller Montage durch Augmented Reality-Technologien. In: Luczak H, Eversheim W (Hrsg.): *Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung*. Band 58, Diss. RWTH Aachen: Shaker.
- Zhu X, Hu SJ, Koren Y, Marin SP (2008) Modeling of manufacturing complexity in mixed-model assembly lines. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 130, (5): ohne Seitenangaben.

Diese Veröffentlichung entstand im Kontext des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfonds geförderten Vorhabens »Montexas4.0« (Förderkennzeichen 02L15A260).



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten**

65. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft  
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme  
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019**

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,  
Technische Universität Dresden;  
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2019  
ISBN 978-3-936804-25-6

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 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)