

## **Bedarfsgerechte Entwicklung und Evaluation eines informatorischen Assistenzsystems in der manuellen Montage**

Philip SEHR<sup>1</sup>, Dominic BLÄSING<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institut für industrielle Informationstechnik (inIT),  
Technische Hochschule OWL  
Campusallee 6, D-32657 Lemgo*  
<sup>2</sup> *Institut für Psychologie,  
Universität Greifswald  
Franz-Mehring-Straße 47, D-17487 Greifswald*

**Kurzfassung:** Im Rahmen des Projektes Montexas4.0 wurden die Auswirkungen eines informatorischen Assistenzsystems auf die Produktivität im Rahmen einer Fallstudie untersucht. Mit der Optimierung des Informationsmanagements konnten in einem ersten Schritt bereits deutliche Produktivitätssteigerungen erzielt werden. Darauf Bezug nehmend soll das implementierte Assistenzsystem in einem zweiten Schritt durch ein AR-basiertes Assistenzsystem ergänzt werden. Bei der Entwicklung wurden die Akzeptanz der Mitarbeiter, die Reduktion der Komplexität, die Effizienz der Prozesse und die Wirtschaftlichkeit gleichermaßen berücksichtigt. Basierend auf grundlegenden Gestaltungshinweisen zur Informationsbereitstellung wird in dem Beitrag ein prototypisches Put-to-Light System vorgestellt. Die Evaluierung des Assistenzsystems erfolgt in einem zweistufigen Verfahren.

**Schlüsselwörter:** Informatorische Assistenzsysteme, Put-To-Light, Montage, Intuition, Akzeptanz

### **1. Einführung in die bisherige Arbeit**

Im Rahmen des Verbundprojektes „Montexas4.0“ wurde eine Fallstudie zum Thema informatorische Assistenzsysteme in der manuellen Montage durchgeführt. Bei dem vorliegenden Anwendungsfall handelt es sich um einen Hersteller kundenindividueller LKW Auf- und Ausbauten. Basis dieser Aufbauten ist eine Rahmenkonstruktion, welche Hilfsrahmen genannt wird. Wegen der Vielfalt der Fahrzeugtypen und Produktvarianten gibt es eine große Anzahl verschiedener Hilfsrahmen, was eine erhöhte Komplexität bedeutet. Diese führt in Verbindung mit der Art der Informationsaufbereitung und -beschaffung zu Verzögerungen in der Montage (Hinrichsen et al. 2018). Mit dem Ziel, das Informationsmanagement zu verbessern und die Produktivität zu steigern, wurde ein System entwickelt, welches den Anteil wertschöpfender Tätigkeiten (reine Montage) steigert und nicht wertschöpfende Anteile (Informationsbeschaffung, Prüfen und Messen etc.) reduziert (vgl. Finnsgård et al. 2011). Das entwickelte System analysiert die Auftrags- und Konstruktionsdaten aktueller Aufträge, filtert die relevanten Informationen heraus, um diese dann in vereinfachter Form anzuzeigen. Mittels Zeitstudien wurde hier bereits eine Steigerung der Produktivität nachgewiesen. Die durchschnittlich benötigte Montageauftragszeit verringerte sich dabei um 13% (Nikolenko et al. 2019).

Nach der Optimierung des Informationsmanagements sollen im zweiten Schritt die Unsicherheiten während der Montage selbst reduziert werden. Hierfür soll ein AR-basiertes Assistenzsystem verwendet werden, welches dem Mitarbeiter die relevanten Montageinformationen direkt in der Montageumgebung anzeigt. Bei der Entwicklung dieses Systems sind, neben der bedarfsgerechten Assistenzfunktion, auch wirtschaftliche Faktoren von Bedeutung. Zu hohe Investitionskosten sind für ca. die Hälfte der kleinen und mittelständischen Unternehmen ein Risiko, welches Digitalisierungsmaßnahmen häufig behindert (Leyh & Bley 2016). Um diese initiale Hemmschwelle zu vermeiden, soll das System mit möglichst geringen Investitionskosten umsetzbar sein.

## **2. Entwicklung eines bedarfsgerechten Assistenzsystems**

Neben dem Kosten-Nutzen-Faktor stehen bei der Entwicklung einer arbeitsplatzspezifischen, bedarfsgerechten Lösung drei Kernthemen im Vordergrund: Akzeptanz, Komplexitätsreduktion und Prozesseffizienz aus Sicht des Mitarbeiters. Diese drei Punkte lassen sich dabei nicht unabhängig voneinander betrachten, sondern sind eng miteinander verzahnt.

### *2.1 Akzeptanzsteigerung durch partizipative Gestaltung*

Eine reine Top-Down organisierte Einführung einer technologischen Neuerung kann dazu führen, dass diese abgelehnt und in der Folge nicht genutzt wird. Ohne vorhandenen Leidensdruck ist die Bereitschaft zur Nutzung eines neuen Systems in der Regel gering, da es meist mit dem Erlernen neuer Abläufe und einem (zumindest kurzfristigen) Mehraufwand verbunden ist. Durch die Einbeziehung der Mitarbeiter in den kompletten Prozess der Gestaltung des Systems wird eine Verbundenheit zum System hergestellt und die subjektiv wahrgenommene Nützlichkeit des Systems steigt an, wodurch die Wahrscheinlichkeit der späteren Nutzung steigt (Wixom & Todd 2005). Durch ein solch partizipatives Vorgehen können zudem auch Schwachstellen im Prozess besser aufgedeckt werden und diese zusätzlich zur Einführung des Assistenzsystems verbessert werden. Ein weiterer positiver Nebeneffekt stellt das permanente und direkte Feedback durch den Endanwender in der Entwicklung dar, wodurch sich nicht nur die Einfachheit der Nutzung und damit auch die Akzeptanz erhöht, sondern auch eine intuitive Bedienbarkeit sichergestellt wird.

### *2.2 Reduktion von Unsicherheit und Komplexität*

Steigende Variantenanzahlen, Konfigurationsmöglichkeiten und sinkende Losgrößen sind für den Kunden eine gute Möglichkeit, sein Wunschprodukt zu kreieren, gelten jedoch auch mit als Haupttreiber für Komplexität am Arbeitsplatz (Bornewasser et al. 2018). Durch die hohe Anzahl an Teilen und Möglichkeiten, diese zu konfigurieren und zu befestigen, entsteht auf Seiten des Mitarbeiters ein Gefühl der Unsicherheit durch eine Vielzahl an zu durchlaufenden Entscheidungsvorgängen, welches als mentale Beanspruchung erlebt werden kann (Zhu et al. 2008). Ein informatorisches Assistenzsystem ist dabei in der Lage, diese Auswahl- und Entscheidungsprozesse zu minimieren, wesentliche von unwesentlichen Informationen zu trennen und den Beschäftigten in der Ausführung seiner Tätigkeit zu unterstützen. Das Assistenzsystem sollte ihn dabei aber nicht mit zusätzlichen Informationen überfordern.

### 2.3 Unterstützung von Intuition und Workflow

Bei der Gestaltung eines informatorischen Assistenzsystems gilt es, nicht nur darauf zu achten, dass die richtige Menge an Information zur richtigen Zeit am richtigen Ort angezeigt wird (Hinrichsen et al. 2016), sondern auch dafür zu sorgen, dass die Art und Weise der Präsentation sich so in den Arbeitsprozess integrieren lässt, dass diese den Workflow unterstützen kann und möglichst intuitiv und damit robust gegenüber Fehlern verarbeitet werden kann. Strategien zur Unterstützung des Workflows sind dabei zum Beispiel die Reduktion von Unterbrechungen durch die Vermeidung von Suchprozessen (Thomas 2000), die Aktivierung mentaler Modelle (Cui et al. 2016) oder die Stärkung von Verhaltensweisen, die auf fähigkeitsbasiertem Wissen beruhen (Rasmussen 1983). Ein Assistenzsystem sollte dabei so gestaltet werden, dass es möglich ist, aus bekannten Informationsmustern auf neue unbekannte Situationen Rückschlüsse ziehen zu können. Die Gestaltung der Information sollte demnach einheitlich sein und auftragsunabhängig erfolgen. Es ist dabei wichtiger zu vermitteln, wie das Assistenzsystem generell funktioniert als die einzelnen Instruktionen für jeden Prozess zu lernen (Mattsson & Fast-Berglund, 2016).

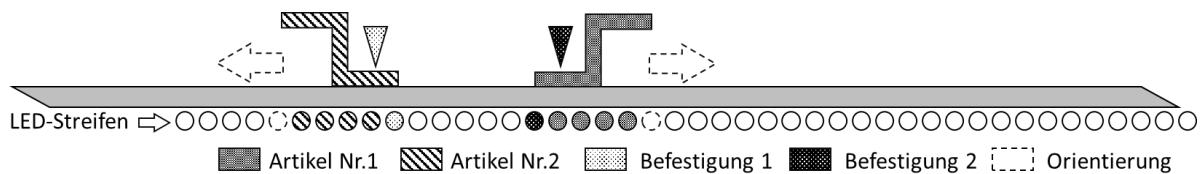
### 3. Put-To-Light Assistenzsystem im Anwendungsfall

Für die Umsetzung eines AR-basierten Assistenzsystems können beispielsweise AR-Brillen oder Projektoren verwendet werden. Diese bieten flexible Darstellungsmöglichkeiten, mit denen die Assistenzfunktion realisiert werden kann. Im vorliegenden Anwendungsfall ist die Akzeptanz der Mitarbeiter gegenüber AR-Brillen sehr gering, da diese bei der Montage stören können, weshalb diese Technologie verworfen wurde. Ein projektionsbasiertes Assistenzsystem hat dieses Problem nicht. Allerdings führen die räumlichen Ausmaße des Arbeitssystems, welche der Grundfläche eines LKWs entsprechen, dazu, dass mehrere Projektionsgeräte benötigt werden, um den Montagebereich abdecken zu können und somit die Investitionskosten steigen. Zudem haben diese Systeme den Nachteil, dass Informationen in gestörten Lichtsituationen schlecht wahrgenommen werden können. Zudem sind die Investitionskosten vergleichsweise hoch, so dass projektionsbasierte Assistenzsysteme nicht in Frage kommen. Um sowohl die wirtschaftlichen als auch humanorientierten Anforderungen zu erfüllen, wurde eine alternative Technologie gewählt. Diese ermöglicht eine umgebungsunabhängige Anzeige von Montageinformationen, ohne den Mitarbeiter zu behindern. Allerdings ist die Flexibilität der Anzeigemöglichkeiten eingeschränkt.

Die Basis des Assistenzsystems sind WS2813 RGB LED-Chips. Diese verfügen neben einer RGB-LED über integrierte Steuerungselektronik. Diese ermöglicht, eine präzise Farbwiedergabe von über 16 Mio. Farbwerten. Durch intelligente Signalweiterleitung können mehrere LEDs, die auf einem Streifen angebracht sind, über dieselbe Datenleitung individuell angesteuert werden. Diese Streifen sind in verschiedenen Längen und mit verschiedenen Auflösungen verfügbar.

Im Wesentlichen werden drei verschiedene Informationen während der Montage benötigt. Die Position, an der Bauteile montiert werden müssen, ihre Orientierung und die zu verwendenden Befestigungsteile. Da die Anzeigemöglichkeiten begrenzt sind, ist für die Assistenzfunktion speziell entwickelte Software nötig, welche die Montageinformationen dem Anzeigeformat anpasst. Zunächst wird die Konstruktionszeichnung analysiert und die relevanten Informationen in ein Informationsmodell überführt. Unter

Berücksichtigung der Nutzervorgaben wird eine LED-Sequenz generiert. Je nach Auflösung der LEDs auf dem Streifen werden jedem Bauteil die passenden LEDs zugewiesen. Der Benutzer kann hier die Farbwiedergabe individuell einstellen und bestimmen, wie viele Informationen gleichzeitig angezeigt werden sollen. In Abbildung 1 ist das Resultat dieser Umwandlungen dargestellt. Während der Montage muss der Mitarbeiter nun die Querträger an den Stellen auflegen, an denen der LED-Streifen aufleuchtet. Dabei zeigt eine fest definierte Farbe die Orientierung des Bauteils an, während die letzte LED das zu verwendende Befestigungsteil anzeigt. Alle LEDs, die sich zwischen diesen beiden befinden, zeigen durch ihre Farbe das zu montierende Bauteil an. Die Farben der LEDs entsprechen dabei den Farben in der Darstellung der bestehenden Software, wodurch die Farben mit den Artikelnummern verbunden werden können.



**Abbildung 1:** Darstellung der Montageassistenz mit LED-Streifen

Die LED-Streifen werden an einer geeigneten Stelle entlang der Längsträger montiert. Die LEDs sind durch einen Silikonschlauch und eine Aluminiumschiene geschützt, wodurch das System vor Staub und Wasser nach IP67 sowie Beschädigung geschützt wird.

#### 4. Evaluation

Die Evaluation des Systems soll in zwei separaten Schritten erfolgen. Zur Ermittlung der Produktivitätssteigerung im praktischen Umfeld werden Zeitstudien durchgeführt. Dabei sollen die Resultate einen Vergleich mit den vorherigen Ergebnissen erlauben, weshalb das Format der Zeitstudie beibehalten wird (Nikolenko et al. 2019). Zusätzlich zu der Zeitstudie erfolgt ein Laborversuch, in dem das LED-System mit anderen Assistenzsystemen (Papier, Tablet und AR-Brille) verglichen wird. Der Versuch stellt eine maßstabsgetreue Nachbildung des praktischen Anwendungsfalles dar. Die Evaluation erfolgt dabei sowohl anhand rein performanzbezogener Daten wie Geschwindigkeit und Fehleranzahlen, als auch über die Erfassung mentaler Beanspruchung über objektive physiologische Indikatoren wie Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität und Pupillendilatation.

#### 5. Wirtschaftliche und humanorientierte Potenzialabschätzung des informatorischen Assistenzsystems

##### 5.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Das Assistenzsystem wurde als Low-Cost-Lösung für den vorliegenden Anwendungsfall konzipiert. Die Investitionskosten für die benötigte Hardware liegen, verglichen mit projektionsbasierten Assistenzsystemen, bei unter einem Zehntel, da keine teuren Projektionsgeräte benötigt werden. Allerdings musste die Software zur Anzeige

der Montageinformation individuell entwickelt werden, da hier keine Standardlösung verfügbar ist. Dieser erhöhte Aufwand bedeutet aber auch eine angepasste Lösung, die besser skaliert und gewartet werden kann.

Bei einer Auflösung von 60LEDs/m liegt der Energieverbrauch bei 18W/m, allerdings nur dann, wenn alle LEDs bei voller Helligkeit weiß leuchten, was nur während die Initialisierung geschieht. Für die Steuerung der LEDs wird ein RaspberryPi und ein Arduino Nano verwendet, die mit einem 12W Netzteil betrieben werden. Der gesamte Energieverbrauch während der Nutzung des Systems wird während der Evaluationsphase ermittelt. Die Lebensdauer der LEDs ist höher als die von durchschnittlichen Projektionsgeräten, was lange Wartungsintervalle ermöglicht. Sollte eine LED defekt sein, kann diese einzeln ausgetauscht werden, da der LED-Streifen an jeder Stelle aufgetrennt und neu verbunden werden kann.

## 5.2 Informationsdarstellung

Die für die Informationsdarstellung benötigten LEDs können in verschiedenen Konfigurationen genutzt werden. Wichtig ist dabei, dass das Maximum an aufnehm- und verarbeitbaren Informationseinheiten nicht überschritten wird. Dieses orientiert sich an der maximalen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und liegt somit bei  $7 \pm 2$  Informationseinheiten (Miller 1956). Bei der Informationsdarstellung können dabei ebenfalls Informations-Chunks gebildet werden, also zusammenhängende Informationsblöcke, die die Aufnahme von Informationen erleichtern. Dies kann über die Kombination verschiedener benachbarter LEDs passieren. Eine Single-Indicator-Lösung könnte darin bestehen, nur die Position anzuzeigen. Mit einer Dual-Indicator-Lösung könnte eine zusätzliche LED die Ausrichtung des Querträgers angeben. Multi-Indicator-Lösungen könnten darüber hinaus noch Länge, Befestigungsart oder andere Hinweise zusätzlich übermitteln.

Wichtig ist dabei, dass sich das Assistenzsystem individuell konfigurieren lässt und darauf geachtet wird, dass die Informationsdichte nicht zu hoch wird, damit Fehler vermieden werden können (Card et al. 1983). Auch wenn Experten davon ausgehen, dass das menschliche Auge in der Lage ist, zwischen 100.000 und 10 Millionen Farben zu differenzieren (Calkins 1993, Wyzsecki 2006), so ist dieser Farbraum jedoch nicht hundertprozentig für die Darstellung am Arbeitsplatz geeignet. Alter, Geschlecht, Herkunft und Seh-Beeinträchtigungen können dazu beitragen, dass die Farbwahrnehmung gestört ist. Nach Berücksichtigung all dieser Faktoren verbleiben jedoch immer noch genug Kombinationsmöglichkeiten, um alle gewünschten Informationen unterscheidbar darzustellen. So kann beispielsweise auch die Helligkeit und das Verhältnis zweier LEDs zueinander genutzt werden, um die Position und Ausrichtung des Querträgers anzugeben.

Ein aktuelles Problem in der miniaturisierten Variante im Labor stellt die Auflösung der LEDs und die damit einhergehende Mehrdeutigkeit der Information dar. Durch eine Veränderung der LED-Dichte kann diesem Zustand Abhilfe geschaffen werden. In der aktuellen Konfiguration kann es eine Steigerung mentaler Beanspruchung in Folge eines veränderten Entscheidungsprozesses zur Folge haben, Fehler verursachen und die Akzeptanz und Nutzung des Assistenzsystems mindern.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Um die Unsicherheit während der Montage zu reduzieren, wurde ein AR-basiertes Assistenzsystem vorgestellt, welches LED-Streifen zur Anzeige von Informationen verwendet. Dabei wurden die wirtschaftlichen Interessen mit den humanorientierten kombiniert, um die Investition in diese Art von Assistenzsystem zu erleichtern. Die geplanten Evaluationsschritte werden darlegen, inwieweit die Ziele des Assistenzsystems erreicht werden. Eine prototypische Integration des Systems in das Arbeitssystem ergab konstruktives Feedback bezüglich der Positionierung des LED-Streifen, welches in das Ergebnis eingearbeitet werden soll. Um die Akzeptanz seitens der Mitarbeiter weiterhin hoch zu halten, werden sie in den Integrationsprozess mit eingebunden. Gleichzeitig mit dem Praxistest werden Laborversuche durchgeführt, welche die Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung untersuchen sollen.

## 7. Literatur

- Bornewasser M, Bläsing D, Hinrichsen S (2018) Informatrische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72(4), 264–275.
- Calkins DJ (1983). Mapping color perception to a physiological substrate. *The Visual Neurosciences Volumes 1 and 2*. The MIT Press.
- Card SK, Moran TP, Newell A (1983) *The Psychology of Human Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Cui J, Kuijper A, Fellner DW, Sourin A (2016) Understanding people's mental models of mid-air interaction for virtual assembly and shape modeling. *Proceedings of the 29th International Conference on Computer Animation and Social Agents*
- Finnsgård C, Wänström C, Medbo L, Neumann WP (2011) Impact of materials exposure on assembly workstation performance. *International Journal of Production Research*, 49(24), 7253–7274.
- Hinrichsen S, Bendzioch S (2018) How digital assistance systems improve work productivity in assembly. Nunes, I. (Eds.): *Advances in human factors and systems interaction AHFE 2018*. Advances in intelligent systems and computing. Cham: Springer International, Bd. 781, 332-342.
- Hinrichsen S, Riediger D, Unrau A (2016) Assistance Systems in Manual Assembly. Villmer FJ; Padoano E (Hrsg.): *Production Engineering and Management*. Proceedings 6th International Conference. 29.-30.09.2016 in Lemgo, Germany, Publication Series in Direct Digital Manufacturing, 3-14.
- Leyh C, Bley K (2016) Digitalisierung: Chance oder Risiko für den deutschen Mittelstand? – Eine Studie ausgewählter Unternehmen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 53(1), 29-41.
- Mattsson S, Fast-Berglund Å (2016) How to Support Intuition in Complex Assembly? *Procedia CIRP*, 50, 624–628.
- Miller GA (1956). The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63 2, 81–97.
- Nikolenko A, Sehr P, Hinrichsen S, Bendzioch S (2019) Digital Assembly Assistance Systems—A Case Study. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 24-33). Springer, Cham.
- Rasmussen J (1983) Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3).
- Thomas HR (2000) Schedule Acceleration, Work Flow, and Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(4), 261–267.
- Wixom BH, Todd PA (2005) User acceptance and user satisfaction: Towards a theoretical integration. *Information Systems Research*, 16(1), 85-102.
- Wyszecki G (2006). *Color*. In: Chicago: World Book Inc, 824.
- 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), 051013.

Diese Publikation entstand im Kontext des von BMBF und ESF geförderten Verbundprojektes Montexas4.0 „Exzellente Montage im Kontext Industrie 4.0 – wirtschaftlich und kompetenzförderlich“ (FKZ 02L15A260).



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?**

66. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin  
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020**

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme  
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2020  
ISBN 978-3-936804-27-0

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,
- den Kongressband 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**

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

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